

**METODOLOGÍA PARA LA ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA
PARA EVENTOS DE INUNDACIÓN A PARTIR DE ANALISIS DEL
RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO**

**TRABAJO DE TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
MAGISTER EN INGENIERÍA CIVIL CON ÉNFASIS EN RECURSOS
HÍDRICOS**

DIRECTOR: ING. HUMBERTO AVILA, PHD

ESTUDIANTE: ING. CARLOS ARTURO PALMA ESTRADA



UNIVERSIDAD DEL NORTE

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA CIVIL Y AMBIENTAL

BARRANQUILLA - COLOMBIA

2015

NOTA DE ACEPTACIÓN

JURADO

JURADO

JURADO

BARRANQUILLA, AGOSTO 3 DEL 2015

AGRADECIMIENTOS

A Dios, pues Él es el creador de los cielos y la tierra, sin Él nada de lo que existe fuese hecho. A Dios, pues gracias a Su sabiduría estableció leyes y límites a los ríos y mares. A Dios, pues su fuerza y gracia me ayudaron a alcanzar ésta meta. Esta investigación es para Su Gloria y Su honra.

A Carlos e Indira mis padres y a Daniela y José Miguel mis hermanos, sus palabras de ánimo y de exhortación fueron de gran ayuda para lograr este objetivo, eternamente estaré agradecido con ustedes.

A Katherine mi prometida, tu tenacidad y persistencia son un gran ejemplo para mí, gracias por tu apoyo incondicional.

A la Universidad del Norte, al Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, al Instituto de Estudios Hidráulicos y Ambientales IDEHA, al Laboratorio de Ensayos Hidráulicos Las Flores LEH – LF, al Centro de Consultoría y Servicios, especialmente a los ingenieros Humberto Ávila, Manuel Alvarado, Ignacio De La Hoz, Roberto Castro y Eddie Lora, a todos los profesores y personal administrativo gracias por creer en mí y en mi trabajo, sus continuas enseñanzas han sido de mucha ayuda.

A la Iglesia en Barranquilla, a la Familia Palma, a la Familia Estrada y a todos mis Amigos, muchas gracias por su apoyo.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	16
1 GENERALIDADES	17
1.1 INTRODUCCION	17
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.3 JUSTIFICACION	18
1.4 OBJETIVOS	19
1.4.1 Objetivo General	19
1.4.2 Objetivos Específicos	19
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	20
2 ESTADO DEL ARTE	21
2.1 INTRODUCCION	21
2.2 MARCO DE REFERENCIA	22
2.2.1 Tipos de Inundaciones	23
2.2.1.1 Inundaciones Repentinas	23
2.2.1.2 Inundaciones Fluviales	24
2.2.1.3 Inundaciones Costeras	25
2.2.2 Caracterización de las Inundaciones: Causas, Efectos y Contribución de la Población.	26
2.2.3 Inundaciones a Nivel Mundial	28
2.2.4 Inundaciones en Colombia	31
2.2.5 Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad	34
3 METODOLOGÍA INVESTIGATIVA	39

3.1 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLOGICA DE NIVELES DEL RÍO	40
3.2 RECOPIACIÓN HISTORICA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN ASOCIADAS AL RIO DE ESTUDIO	41
3.3 ASIGNACION DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN A LAS ESTACIONES HIDROLOGICAS DEL IDEAM.	42
3.4 ORGANIZACIÓN Y DESCRIPCION DE LOS EVENTOS DE INUNDACION	42
3.5 ANALISIS DE AMENAZA DE INUNDACION DE CADA EVENTO CONSIDERANDO EL RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO.....	42
3.6 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PARA CADA MUNICIPIO AFECTADO.	43
4 RESULTADOS	44
4.1 GENERALIDADES DEL RÍO MAGDALENA.....	44
4.2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLOGICA DE NIVELES DEL RIO MAGDALENA EN ESTACIONES IDEAM.....	47
4.3 RECOPIACIÓN HISTORICA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN RELACIONADOS CON EL RÍO MAGDALENA	50
4.4 ASIGNACION A ESTACIONES HIDROLOGICAS, ORGANIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN.	52
4.5 ANALISIS DE AMENAZA DE INUNDACION DE CADA EVENTO CONSIDERANDO EL RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO.....	62
4.5.1 Estación IDEAM Calamar (K93).....	62
4.5.2 Estación IDEAM Plato (K167).....	65
4.5.4 Estación IDEAM El Banco (K400).....	69
4.5.6 Estación IDEAM Puerto Wilches (K638)	75

4.5.7 Estación IDEAM Barrancabermeja (K660).....	78
4.5.8 Estación IDEAM Puerto Berrío (K765).....	80
4.5.9 Estación IDEAM Puerto Salgar (K940)	83
4.6 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PARA CADA MUNICIPIO IDENTIFICADO.....	86
4.6.1 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Calamar (K93)	86
4.6.1.1 Remolino (Magdalena).....	86
4.6.1.2 Sitionuevo (Magdalena)	87
4.6.1.3 Cerro de San Antonio (Magdalena)	87
4.6.1.4 Suán (Atlántico)	87
4.6.1.5 Malambo (Atlántico)	88
4.6.1.6 Ponedera (Atlántico)	89
4.6.1.7 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Calamar (K93) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	89
4.6.2 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Plato (K167)	90
4.6.2.1 Robles (Bolívar)	90
4.6.2.2 San Agustín (Bolívar).....	91
4.6.2.3 Tenerife (Magdalena).....	91
4.6.2.4 Comparativo entre Niveles de Alerta en Estación IDEAM Plato (K167) y Niveles de Alerta Propuestos Para Municipios	92
4.6.3 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Magangué (K252).....	93
4.6.3.1 Córdoba (Bolívar).....	93
4.6.3.2 Tacaloe (Bolívar).....	94
4.6.3.3 Zambrano (Bolívar)	94
4.6.3.4 Tacamocho (Bolívar).....	94

4.6.3.5 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Magangué (K252) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	95
4.6.4 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM El Banco (K400)	95
4.6.4.1 Altos del Rosario (Bolívar)	96
4.6.4.2 Barranco De Loba (Bolívar)	96
4.6.4.3 Hatillo de Loba (Bolívar)	97
4.6.4.4 Pinillos (Bolívar)	98
4.6.4.5 San Martín de Loba (Bolívar)	99
4.6.4.6 Comparativo entre Niveles de Alerta en Estación IDEAM El Banco (K400) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	99
4.6.5 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Gamarra (K500)	100
4.6.5.1 El Peñon (Bolívar)	100
4.6.5.2 Tamalameque (Cesar)	101
4.6.5.3 La Gloria (Cesar)	102
4.6.5.4 Arenal del Sur (Bolívar)	103
4.6.5.5 Regidor (Bolívar)	104
4.6.5.6 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Gamarra (K500) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	105
4.6.6 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Wilches (K638)	105
4.6.6.1 Cantagallo (Bolívar)	106
4.6.6.2 Loma de Corredor (Cesar)	107
4.6.6.3 Morales (Bolívar)	107
4.6.6.4 San Pablo (Bolívar)	108
4.6.6.5 Simití (Bolívar)	109

4.6.6.6 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Puerto Wilches (K638) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	110
4.6.7 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Berrío (K765)	111
4.6.7.1 Yondó (Antioquia)	111
4.6.7.2 Comparativo entre Niveles de Alerta de Inundación en Estación IDEAM Puerto Berrio (K765) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	112
4.6.8 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Salgar (K940)	112
4.6.8.1 Puerto Boyacá (Boyacá)	113
4.6.8.2 Puerto Nare (Antioquia)	113
4.6.8.3 Puerto Triunfo (Antioquia)	114
4.6.8.4 Comparativo entre Niveles de Alerta de Inundación en Estación IDEAM Puerto Salgar (K940) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios	115
4.6.9 Análisis de Vulnerabilidad del Sistema de Control de Inundación con base a Niveles de Alerta en Estaciones Hidrológicas del IDEAM	115
5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	117
5.1 CONCLUSIONES	117
5.2 RECOMENDACIONES	118
6 BIBLIOGRAFIA	119

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 2-1. Preocupación por la Inundación.....	22
Figura 2-2. Inundación por desbordamiento del cauce.....	24
Figura 2-3. Inundación por rotura de dique carretable del Canal del Dique (Atlántico).	25
Figura 2-4. Inundaciones y sus causas.	27
Figura 2-5. Afectaciones por eventos geológicos y eventos hidrometeorológicos 2010 – 2011.	30
Figura 2-6. Tipología de daños y pérdidas por eventos hidrometeorológicos y climatológicos.....	30
Figura 2-7. Tipología de daños y pérdidas por eventos hidrometeorológicos y climatológicos.....	31
Figura 2-8. División Administrativa y Red Hidrográfica de Colombia..	32
Figura 2-9. Mapas de Zonas Susceptibles a Inundación.....	33
Figura 2-10. Riesgo e Impactos y sus orígenes.	35
Figura 3-1. Metodología propuesta y aplicada para la estimación de niveles de alerta de inundación.....	39
Figura 4-1. Localización general del río Magdalena.....	44
Figura 4-2. Recorrido del río Magdalena.	45
Figura 4-3. Curva de Nivel Calamar – Caudal Barranquilla.	47
Figura 4-4. Localización geográfica de estaciones IDEAM seleccionadas.....	49
Figura 4-5. Ejemplo de reporte de Noticias de periódicos nacionales y regionales.	51
Figura 4-6. Localización municipios entre Barranquilla (Atlántico) – Zambrano (Bolívar).....	53
Figura 4-7. Localización municipios entre Cordoba (Bolívar) – Pinillos (Bolívar) ..	53
Figura 4-8. Localización municipios entre Altos del Rosario (Bolívar) – San Martín de Loba (Bolívar).	54

Figura 4-9. Localización municipios entre El Banco (Magdalena) – Tamalameque (Cesar)	54
Figura 4-10. Localización entre municipios Regidor (Bolívar) – Loma de Corredor (Cesar)	55
Figura 4-11. Localización entre municipios San Pablo (Bolívar) – Yondó (Antioquia)	55
Figura 4-12. Localización entre municipios Puerto Nare (Antioquia) – Puerto Triunfo (Antioquia).	56
Figura 4-13. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Calamar (K93).	63
Figura 4-14. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Calamar (K93).....	64
Figura 4-15. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Calamar (K93).	64
Figura 4-16. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Plato (K167).	65
Figura 4-17. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Plato (K167).....	66
Figura 4-18. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Plato (K167).	67
Figura 4-19. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Magangué (K252).....	68
Figura 4-20. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Magangué (K252).....	68
Figura 4-21. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Magangué (K252). .	69
Figura 4-22. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM El Banco (K400).	70
Figura 4-23. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM El Banco (K400).....	71
Figura 4-24. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM El Banco (K400).	71
Figura 4-25. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Gamarra (K500).	74

Figura 4-26. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Gamarra (K500).....	74
Figura 4-27. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Gamarra (K500).	75
Figura 4-28. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Wilches (K638).....	76
Figura 4-29. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Wilches (K638).....	77
Figura 4-30. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Wilches (K638).	77
Figura 4-31. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Barrancabermeja (K660).	78
Figura 4-32. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Barrancabermeja (K660).	79
Figura 4-33. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Barrancabermeja (K660).....	80
Figura 4-34. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Berrío (K765).	81
Figura 4-35. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Berrío (K765).....	82
Figura 4-36. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Berrío (K765).	82
Figura 4-37. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Salgar (K940).....	84
Figura 4-38. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Salgar (K940).	85
Figura 4-39. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Salgar (K940).	85

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 2-1. Inundaciones entre 2000 – 2013 con más de 1500 personas muertas.	28
Tabla 2-2. Valoración de daños y pérdidas 2010 – 2011.	34
Tabla 4-1. Variación de caudales en el río Magdalena entre Calamar (K93) – Regidor (454).	46
Tabla 4-2. Niveles del río Magdalena bajo diferentes Periodos de Retorno Calamar (K93) – Regidor (454).....	46
Tabla 4-3. Estaciones Hidrológicas IDEAM seleccionadas.	48
Tabla 4-4. Cotas de Inundación y Niveles de Alerta en Estaciones IDEAM Seleccionadas.	48
Tabla 4-5. Reporte de inundaciones emitidos por la UNGRD.	51
Tabla 4-6. Municipios afectados por inundaciones de acuerdo a las fuentes de información.....	52
Tabla 4-7. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Calamar (K93).	57
Tabla 4-8. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Plato (K167)..	57
Tabla 4-9. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Magangué (K252).....	58
Tabla 4-10. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM El Banco (K400).	58
Tabla 4-11. Eventos de inundación asignados a la estación IDEA Gamarra (K500).	59
Tabla 4-12. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Wilches (K638).....	60
Tabla 4-13. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Barrancabermeja (K660).	61
Tabla 4-14. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Berrío (K765).....	61

Tabla 4-15. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Salgar (K940).....	61
Tabla 4-16. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Calamar (K93)	63
Tabla 4-17. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Plato (K167)...	65
Tabla 4-18. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Magangué (K252).	67
Tabla 4-19. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM El Banco (K400).	70
Tabla 4-20. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Gamarra (K500).	73
Tabla 4-21. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Wilches (K638).....	76
Tabla 4-22. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Barrancabermeja (K660).....	78
Tabla 4-23. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Berrío (K765).....	80
Tabla 4-24. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Salgar (K940).....	83
Tabla 4-25. Niveles de Alerta para Remolino (Magdalena).....	86
Tabla 4-26. Niveles de Alerta para Sitionuevo (Magdalena).	87
Tabla 4-27. Niveles de Alerta para Cerro de San Antonio (Magdalena).....	87
Tabla 4-28. Niveles de Alerta para Suán (Atlántico).....	88
Tabla 4-29. Niveles de Alerta para Malambo (Atlántico).	88
Tabla 4-30. Niveles de Alerta para Ponedera (Atlántico).....	89
Tabla 4-31. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Calamar (K93).	89
Tabla 4-32. Niveles de Alerta para Robles (Bolívar).	90
Tabla 4-33. Niveles de Alerta para San Agustín (Bolívar).	91
Tabla 4-34. Niveles de Alerta para Tenerife (Magdalena).	92

Tabla 4-35. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Plato (K167).....	92
Tabla 4-36. Niveles de Alerta para Cordoba (Bolívar).....	93
Tabla 4-37. Niveles de Alerta para Tacaloe (Bolívar).....	94
Tabla 4-38. Niveles de Alerta para Zambrano (Bolívar).	94
Tabla 4-39. Niveles de Alerta para Tacamocho (Bolívar).	95
Tabla 4-40. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Magangué (K252).	95
Tabla 4-41. Niveles de Alerta para Altos del Rosario (Bolívar).....	96
Tabla 4-42. Niveles de Alerta para Barranco de Loba (Bolívar).	97
Tabla 4-43. Niveles de Alerta para Hatillo de Loba (Bolívar).....	97
Tabla 4-44. Niveles de Alerta para Pinillos (Bolívar).	98
Tabla 4-45. Niveles de Alerta para Pinillos (Bolívar).	99
Tabla 4-46. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM El Banco (K400).....	99
Tabla 4-47. Niveles de Alerta para El Peñon (Bolívar).	100
Tabla 4-48. Niveles de Alerta para Tamalameque (Cesar).	101
Tabla 4-49. Niveles de Alerta para La Gloria (Cesar).....	102
Tabla 4-50. Niveles de Alerta para Arenal del Sur (Bolívar).	103
Tabla 4-51. Niveles de Alerta para Regidor (Bolívar).	104
Tabla 4-52. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Gamarra (K500).....	105
Tabla 4-53. Niveles de Alerta para Cantagallo (Bolívar).	106
Tabla 4-54. Niveles de Alerta para Loma de Corredor (Cesar).	107
Tabla 4-55. Niveles de Alerta para Morales (Bolívar).....	108
Tabla 4-56. Niveles de Alerta para San Pablo (Bolívar).	109
Tabla 4-57. Niveles de Alerta para Simití (Bolívar). Fuente: Elaboración Propia.	110
Tabla 4-58. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Wilches (K638).	110
Tabla 4-59. Niveles de Alerta para Yondó (Antioquia).	112

Tabla 4-60. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Berrio (K765).....	112
Tabla 4-61. Niveles de Alerta para Puerto Boyacá (Boyacá).	113
Tabla 4-62. Niveles de Alerta para Puerto Nare (Antioquia).....	114
Tabla 4-63. Niveles de Alerta para Puerto Triunfo (Antioquia).	114
Tabla 4-64. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Salgar (K940).	115
Tabla 4-65. Periodo de Retorno de Niveles de Alerta y Cota de Inundación en estaciones hidrológicas del IDEAM.	116

RESUMEN

En esta tesis investigativa se presenta una propuesta de metodología para la estimación de niveles de alerta de inundación a partir del análisis del riesgo hidrológico y del riesgo hidráulico. Actualmente los niveles de alerta de inundación se definen con base en el nivel del río asociado a un periodo de retorno o a la cota corona de la obra de protección, limitándose a las inundaciones debido al comportamiento hidrológico del río excluyendo a aquellas que ocurrieron con niveles por debajo de la cota corona (OEA, 2001). Teniendo en cuenta lo anterior, esta metodología propuesta resulta innovadora pues aporta un análisis integral del riesgo de inundación para aquellos municipios ubicados en las márgenes de los ríos.

La metodología fue diseñada a partir de las recopilaciones de inundaciones en las entidades oficiales del Estado y de editoriales investigativas, y de los registros históricos de niveles del río en estaciones hidrológicas. Además se requiere de herramientas de Sistemas de Información Geográfica tales como imágenes satelitales para la localización de los municipios seleccionados en las márgenes de los ríos.

Los resultados permiten concluir que el sistema para control de inundación del río Magdalena es altamente vulnerable puesto que los periodos de retorno de las inundaciones son muy bajos y los niveles de alerta de inundación definidos por el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales IDEAM en las estaciones hidrológicas son muy bajos. Además se estimaron niveles de alerta de inundación de acuerdo con el nivel de vulnerabilidad de cada municipio frente a la amenaza de inundación.

1 GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCION

El comportamiento hidrodinámico de los ríos frente al ciclo hidrológico anual (específicamente durante aguas altas) y a eventos extremos como La Niña para el caso del Caribe Colombiano, sumados a la vulnerabilidad existente por la localización de las poblaciones en las márgenes de los ríos generan el ambiente propicio para la ocurrencia de desastres naturales tal como son las inundaciones. Lo anterior sucede, porque en los ríos existe un lecho mayor el cual funciona como zona de desbordamiento cuando el río se sale de su cauce principal, la localización de municipios en el lecho mayor de los ríos trae como consecuencia que estas poblaciones tengan un riesgo latente a sufrir inundaciones.

La presente investigación propone una metodología para la estimación de niveles de alerta de inundación de municipios ubicados en las márgenes de los ríos a partir del análisis del riesgo hidrológico (niveles máximos anuales de la estación hidrológica aguas arriba) y del riesgo hidráulico (fallas estructurales de la obra de protección). Esta metodología estará basada en los eventos de inundación ocurridos para cada municipio, lo cual permitirá que las políticas y estrategias de control de inundación a implementar estén diseñadas bajo eventos reales.

Como caso de estudio se seleccionó el tramo de 940 Km del río Magdalena entre el Puente Laureano Gómez “Pumarejo” (K0) y Puerto Salgar (K940). Las estaciones hidrológicas utilizadas son de propiedad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) y la base de datos de ocurrencia de inundaciones fue tomada de la Unidad Nacional para la Gestión de Riesgos de Desastres.

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la actualidad, los niveles de alerta de inundación de los municipios ubicados en las márgenes del río Magdalena están basados en el diseño de la estructura para la protección a eventos de inundación (diques, muros perimetrales). Además las inundaciones ocurridas tienen como causa el desbordamiento del río de su cauce principal (niveles máximos – riesgo hidrológico) y/o fallas estructurales presentes en la obra de protección (riesgo hidráulico).

Por lo anterior se requiere estimar los niveles de alerta de inundación a partir de un análisis del riesgo hidrológico y del riesgo hidráulico, es decir, que los niveles de alerta no obedezcan solo a las cotas coronas del dique sino también a los niveles sobre los cuales han ocurrido inundaciones a pesar de estar por debajo de esa cota corona, lo cual permitirá tener una escala de alerta de inundación independiente para cada municipio.

1.3 JUSTIFICACION

Para cada municipio ubicado en las márgenes del río Magdalena es necesario tener niveles de alerta que estén enfocados en los eventos de inundación ocurridos en ese municipio, siendo estos niveles estimados a partir de un análisis del riesgo hidrológico (niveles máximos de la estación IDEAM aguas arriba) y del riesgo hidráulico (falla estructural de la obra de protección). Lo anterior se debe a las grandes pérdidas económicas y sociales producto de las inundaciones, por ejemplo: afectación de la infraestructura (vías, colegios, hospitales, redes hidráulicas y/o eléctricas), destrucción total o parcial de viviendas, pérdida de terrenos para agricultura y/o ganadería, afectación de la población civil, como ejemplo se cita el caso Colombiano que para el periodo 2010 – 2011 se registraron más de 3 millones de personas afectadas por inundación (BID - CEPAL, 2012)

Actualmente los municipios para activar sus planes de control de inundación se guían con las niveles de alerta de inundación de la estación hidrológica del Instituto

de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) ubicada aguas arriba, siendo estos niveles de alerta estimados a partir del análisis de frecuencia de niveles máximos. Sin embargo, debido a que cada municipio tiene planes de control de inundación y nivel de vulnerabilidad diferentes se debe realizar un análisis investigativo que permita la independencia de niveles de alerta entre municipios teniendo en cuenta los eventos de inundación ocurridos en cada una de las poblaciones.

Tener un análisis de eventos de inundación para cada municipio ubicado en las márgenes del río Magdalena permitirá reforzar el conocimiento técnico de los planes de control de inundación, logrando así definir políticas y estrategias que mitiguen el riesgo a sufrir pérdidas sociales y económicas por estos eventos.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo General

Estimar los niveles de alerta de inundación para los municipios ubicados en las márgenes del río Magdalena a partir del análisis del riesgo hidrológico (niveles máximos de la estación IDEAM aguas arriba) y del riesgo hidráulico (fallas estructurales de la obra de protección).

1.4.2 Objetivos Específicos

- Establecer una metodología a partir de variables hidrológicas e hidráulicas para la identificación y análisis de eventos de inundación ocurridos en el río Magdalena.
- Sintetizar los eventos de inundación ocurridos entre 1995 – 2012 en el río Magdalena entre Puente Pumarejo (K0) y Puerto Salgar (K940) asociándolos con estaciones hidrológicas del IDEAM.
- Analizar la amenaza de inundación de cada municipio asociado a una estación hidrológica del IDEAM a partir del riesgo hidrológico y del riesgo hidráulico

1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES

- Se tomará como caso de estudio el río Magdalena entre el Puente Laureano Gómez “Pumarejo” (K0) y Puerto Salgar (K940).
- La recopilación de eventos de inundación se obtuvo de la base de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres y de periodos nacionales y locales.
- Las estaciones hidrológicas se seleccionaron a partir de la amplitud de su registro de niveles, ubicación geográfica y de su información sobre niveles de alerta de inundación.
- Los niveles de alerta de inundación propuestos en esta investigación solo aplican en los municipios analizados.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 INTRODUCCION

La relación existente entre la humanidad y las inundaciones data desde las primeras civilizaciones, es una historia que inicio hace cientos de años y para la posteridad seguirá existiendo. Las antiguas grandes civilizaciones de la India, China y Egipto, utilizaban los desbordamientos de los ríos Ganges, Amarillo y Nilo como herramienta para preparar la tierra para ser cultivada, generando así prosperidad económica y social. En nuestro continente Americano, civilizaciones como los Aztecas aprendieron a vivir en un valle lacustre y los Zenúes entendieron la naturaleza de las inundaciones y los beneficios que éstas pueden traer (Sedano, Carvajal & Ávila, 2013)

Debido a los asentamientos de las civilizaciones en las llanuras de inundación de los ríos, estas han desarrollado continuamente modificaciones que le permitan ejecutar actividades económicas como la agricultura, la ganadería, industria o simplemente preparar una porción de tierra para su ubicación, provocando cambios en el comportamiento hidrodinámico y geomorfológico de los ríos, tales como la movilidad de orillas, niveles del cauce activo y cota máxima de inundación. Por consiguiente, cada vez que ocurre una inundación, sea por rebose de la capacidad hidráulica de la sección del río o por falla estructural de la obra para protección, las pérdidas económicas y sociales son cuantiosas, puesto que se han registrado destrucción completa o parcial de viviendas, vías, hospitales, colegios, redes de alumbrado público, redes de acueducto y alcantarillado, y lo peor pérdidas humanas.

Por lo anterior, se hizo menester establecer políticas y estrategias para el control de inundaciones las cuales tienen como meta el respeto por la hidrodinámica y geomorfología del río y el beneficio económico y social de la población asentada en el valle aluvial. A partir de la definición de estas políticas y estrategias, se demostró

la vital importancia de desarrollar investigaciones y estudios relacionados con sistemas de alerta temprana de inundaciones.

2.2 MARCO DE REFERENCIA

Todos los ríos a lo largo de su cauce tienen zonas identificadas como llanuras de inundación las cuales funcionan como amortiguadoras del volumen de agua excedido durante periodos de niveles altos y eventos extremos (fenómenos de variabilidad climática). Para la determinación de la llanura de inundación se requieren estudios que analicen la hidrodinámica y la geomorfología del río, teniendo dicha área estimada podrían establecerse límites a los municipios ubicados en las márgenes de los ríos.

Actualmente, en los planes de ordenamiento territorial se están iniciando los procesos de creación de políticas y estrategias para el control de inundación, para la creación y ejecución de estas políticas y estrategias se requiere entender el concepto de inundación, los tipos de inundación, sus causas y su impacto a nivel mundial y local en la vida económica y social de toda población, lo cual nos permitirá comprender la importancia de estimar niveles de alerta de inundación para tomar acciones informativas, preventivas y correctivas a partir del análisis del riesgo hidrológico (por desbordamiento del río) y riesgo hidráulico (falla estructural de la obra de protección). Ver Figura 2-1

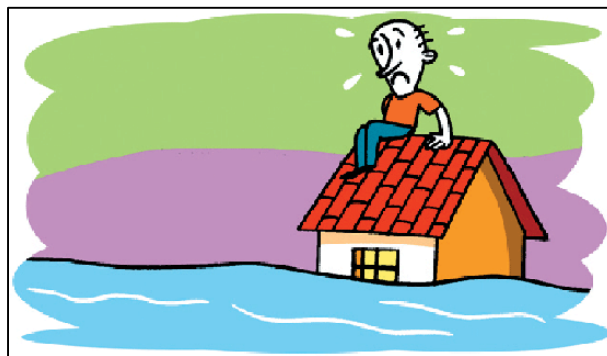


Figura 2-1. Preocupación por la Inundación.¹

¹ Fuente: Imagui, 2015.

La palabra inundación procede del latín *inundatio* definida por la Real Academia Española como “Acción y efecto de cubrir con agua una porción de tierra seca” (RAE, 2012). La Organización Meteorológica Mundial (World Meteorological Organization - WMO) y la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization – UNESCO) en su Glosario Internacional de Hidrología define a la inundación como “desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río” (OMM – UNESCO, 2012). El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (United Nations Development Programme – PNUD) dentro de su Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres (Disaster Management Training Programme) establece que las inundaciones ocurren cuando el agua cubre una porción de tierra que suele estar seca debido al desbordamiento del cauce o por rotura de la obra de protección (PNUD, 1997). Finalmente el Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México define de manera más integral y completa a las inundaciones “entiéndase por inundación aquel evento que debido a la precipitación, oleaje, marea de tormenta, o falla de alguna estructura hidráulica provoca un incremento en el nivel de la superficie libre del agua de los ríos, generando invasión o penetración de agua en sitios donde usualmente no la hay y, generalmente, causa daños a la población, agricultura, ganadería e infraestructura” (CENAPRED, 2013).

2.2.1 Tipos de Inundaciones

Las inundaciones podemos clasificarlas en tres grandes grupos: repentinas, fluviales y costeras (CENAPRED, 2013)

2.2.1.1 Inundaciones Repentinas

Las inundaciones repentinas son generadas por precipitaciones intensas debido a eventos meteorológicos como tormentas tropicales, frentes fríos o huracanes en donde el suelo no puede captar toda el agua precipitada y se generan grandes flujos de escorrentía superficial o embalses, dependiendo de la topografía del terreno. La principal característica de las inundaciones por precipitación es que su afectación

se debe al agua que cayó en esa zona, no por la que venía fluyendo de otros sitios ubicados aguas arriba.

En terrenos rocosos o de pendiente alta, las inundaciones repentinas son potencialmente peligrosas debido a que la escorrentía superficial es alta, la tasa de infiltración del suelo es baja y el agua fluye a altas velocidades por secciones estrechas.

2.2.1.2 Inundaciones Fluviales

Las inundaciones fluviales se deben a la depositación de excedencia de agua en las llanuras de inundación de los cauces dentro de la cuenca hidrográfica, estos cauces se activan debido a las precipitaciones. Las llanuras de inundación son las zonas donde los ríos depositan el agua que no puede ser conducida dentro de la sección transversal del cauce, en estas llanuras de inundación se hallan los depósitos aluviales (generalmente formado por materiales arcillosos y limosos). Ver Figura 2-2.



Figura 2-2. Inundación por desbordamiento del cauce.²

² Fuente: Stormguard Flood Plan, 2015.

Las inundaciones fluviales pueden obedecer a comportamientos hidrológicos del río, sea por niveles de aguas altas o por niveles extremos máximos (debido a fenómenos climatológicos como La Niña), o a rotura de la obra de protección. Las fallas estructurales de la obra de protección pueden deberse a un diseño hidráulico y/o estructural erróneo, mal proceso constructivo, carencia de mantenimiento o terminación de su vida útil. Aunque las inundaciones por rotura de la obra de protección suelen ser de frecuencia baja, a diferencia del desbordamiento que tiene una frecuencia media - alta, sus consecuencias pueden ser desastrosas. Ver Figura 2-3.



Figura 2-3. Inundación por rotura de dique carretable del Canal del Dique (Atlántico).³

2.2.1.3 Inundaciones Costeras

Las inundaciones costeras ocurren cuando el nivel medio del mar aumenta debido a la presencia de ciclones o tifones, produciendo que la marea penetre tierra adentro, cubriendo toda la línea de costa. Además los fuertes vientos de las tormentas tropicales y tifones aumentan la altura y frecuencia del oleaje, generando

³ Fuente: Crónica del Quindío, 2010.

que grandes masas lineales de agua choquen contra el perfil de la playa y sus alrededores.

En este grupo pueden incluirse las inundaciones estuarinas, las cuales son el resultado del aumento del nivel de la marea afectando la línea de costa y el desbordamiento del río (por causa hidrológica o estructural) afectando sus márgenes.

Para efectos de ésta investigación, analizaremos las inundaciones fluviales debido a fuertes precipitaciones en la cuenca y a las debidas por fallas estructurales de la obra de protección.

2.2.2 Caracterización de las Inundaciones: Causas, Efectos y Contribución de la Población.

Toda inundación tiene características que son reguladas por la naturaleza, entre ellas se destaca el tipo de precipitación y las características morfométricas y topográficas de la cuenca. El tipo de precipitación está asociado a la intensidad, duración y frecuencia de la lluvia, la cual obedece a temporadas climatológicas o a fenómenos meteorológicos. Por otro lado las características morfométricas y topográficas de la cuenca está asociada al área y perímetro de la cuenca, pendiente del terreno y del cauce principal, forma de la cuenca, tipo de suelo, nivel de cobertura vegetal.

A partir de lo anterior podemos concluir que las inundaciones obedecen a procesos de la naturaleza, pero su magnitud y frecuencia es influenciada por las actividades humanas. El PNUD (1997) resumió en tres grandes grupos las contribuciones negativas que hacen las actividades humanas para el aumento de la afectación de las inundaciones (Ver Figura 2-4):

- **Urbanización y Deforestación:** La construcción de grandes extensiones de pavimentos y edificaciones impide que el agua se infiltre en el suelo, generando mayor cantidad de escorrentía superficial.

- **Asentamientos en las Llanuras de Inundación:** Asociada a la urbanización y deforestación, la localización de municipios en las llanuras de inundación de los ríos implica un riesgo constante y latente a sufrir inundaciones. Debe tenerse en cuenta que las obras de protección no eliminan el riesgo de inundación, solo lo mitigan temporal y espacialmente.
- **Carencia de Planes de Control de Inundación:** Incluye falta de mantenimiento de las obras de protección como muros de contención, jarillones, diques carreteables o aliviaderos.

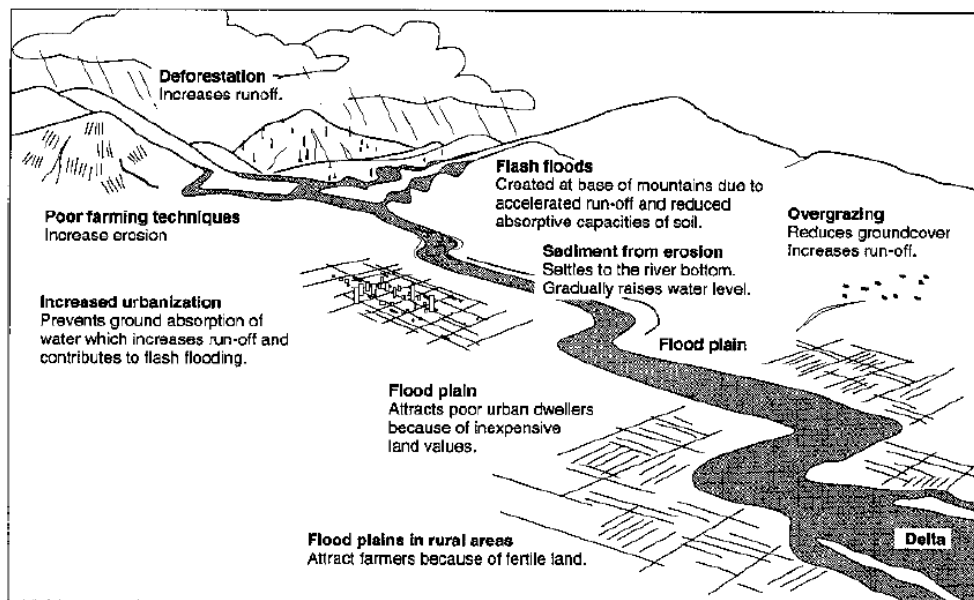


Figura 2-4. Inundaciones y sus causas. ⁴

Las inundaciones pasan de ser un fenómeno de la naturaleza a un desastre, en el momento en que afectan a la población civil o a una actividad económica. Por ello, se resalta los siguientes efectos adversos de las inundaciones:

- **Afectación a la población civil:** Inclúyase pérdidas humanas y problemas de salud pública.
- **Afectación a la fauna y flora.**

⁴ Fuente: PNUD, 1997.

- Daños totales o parciales en la infraestructura física.
- Afectación de las actividades económicas.
- Desplazamiento forzado de la población civil.
- Atraso en el desarrollo económico y social de las poblaciones afectadas.
- Deterioro o destrucción de patrimonios de la humanidad.

Aunque las inundaciones tienen efectos positivos como la conservación de los humedales, provee mantenimiento a los ecosistemas fluviales y recarga a los acuíferos. Para poblaciones ubicadas en tierras áridas, las inundaciones suele significar el mantenimiento y supervivencia de las personas y animales.

2.2.3 Inundaciones a Nivel Mundial

A nivel mundial, los mayores grandes desastres están asociados al agua. Por ello, es una constante encontrar noticias relacionadas a inundaciones por precipitación, por desbordamiento de ríos, por falla de diques, por nieve, por tormentas tropicales o tsunamis en cualquier parte del mundo.

En el artículo *Flood Risk – a Global Problem* de W. Kron (2014) se nos presenta una tabla resumen de las inundaciones a nivel mundial que han producido la mayor cantidad de muertes, se excluyen inundaciones por tsunamis. Ver Tabla 2-1

Year	Region	Event/region	Deaths*
2008	Myanmar	Cyclone Nargis	140,000
2013	Philippines	Typhoon Haiyan	6,334
2013	India	Flash floods	5,500
2007	Bangladesh	Cyclone Sidr	3,295
2004	India, Bangladesh, Nepal	Floods	2,200
2007	Bangladesh, India, Nepal	Floods	2,030
2004	Haiti, Dominican Republic	Floods	2,000
2004	Haiti	Hurricane Jeanne, Floods	2,000
2010	Pakistan	Floods	1,760

* excluding those missing

Tabla 2-1. Inundaciones entre 2000 – 2013 con más de 1500 personas muertas.⁵

⁵ Fuente: Kron, 2014

En términos de pérdidas económicas podemos encontrar que antes de 1990 solo tres (3) eventos de inundación superaron los US\$10bn (billones de dólares americanos). Entre 1990 – 2000 se registraron 13 inundaciones que superaron los US\$5bn, de los cuales 6 superaron los US\$10bn. Desde el año 2000 se tienen registros de 10 eventos de inundación que superaron los US\$5bn en pérdidas económicas, de las cuales 3 fueron superiores a los US\$10bn (Kron, 2014).

La Oficina de las Naciones Unidas para la Reducción del Riesgo de Desastres (The United Nations Office for Disaster Risk Reduction – UNISDR) junto con la Corporación OSSO en el año 2013 ejecutaron un estudio titulado *“Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe, 1990 – 2011”*. El estudio tiene como objetivo aportar una visión regional y por país acerca de las pérdidas humanas y económicas generadas por los desastres naturales, el cual abarcó 16 países entre los cuales tenemos a México, Costa Rica, Panamá, Colombia, Chile.

En Figura 2-5 se observa las pérdidas de vidas humanas, personas afectadas, viviendas destruidas y viviendas dañadas por eventos geológicos y por eventos hidrometeorológicos y climáticos en el periodo 2010 – 2011. Podemos concluir que los desastres naturales relacionados con el agua son los más catastróficos, produciendo la mayor cantidad de personas afectadas (incluyendo pérdidas humanas) y viviendas dañadas.

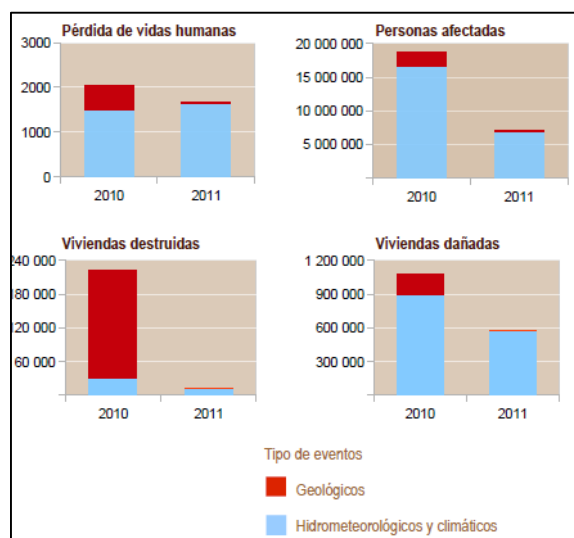


Figura 2-5. Afectaciones por eventos geológicos y eventos hidrometeorológicos 2010 – 2011.⁶

A continuación, en la Figura 2-6 se puede notar que las inundaciones están entre los eventos hidrometeorológicos y climatológicos que más pérdidas de vidas humanas producen, para el año 2010 fue 16% y para el año 2011 fue 28% y más viviendas destruyen, para el año 2010 fue 33% y para el año 2011 fue 33%.

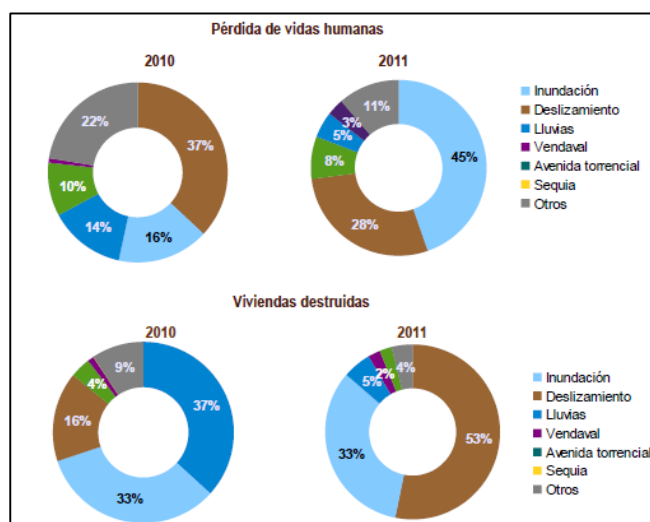


Figura 2-6. Tipología de daños y pérdidas por eventos hidrometeorológicos y climatológicos.⁷

⁶ Fuente: UNISDR – OSSO, 2013.

⁷ Ídem 6

A partir de los registros de afectación a la población civil y a infraestructura física desde 1990 – 2011, este estudio concluye que las inundaciones son responsables del 9% de pérdidas de vidas humanas, 8% de personas afectadas, 19% de viviendas destruidas y 22% de viviendas dañadas. Ver Figura 2-7

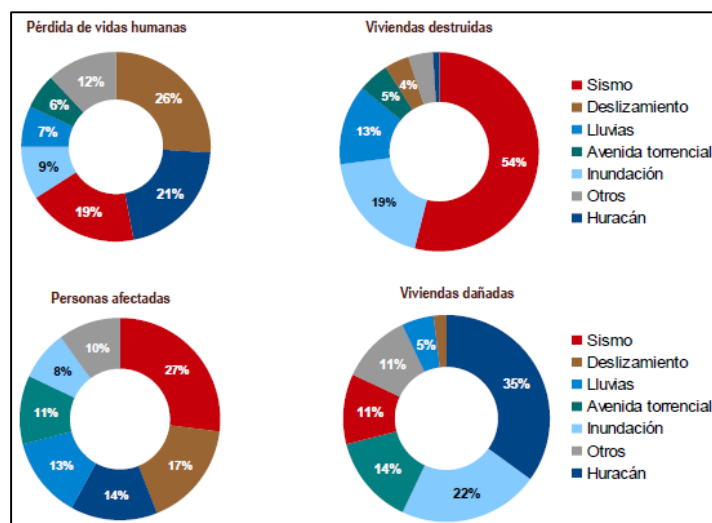


Figura 2-7. Tipología de daños y pérdidas por eventos hidrometeorológicos y climatológicos.⁸

2.2.4 Inundaciones en Colombia

El panorama de las inundaciones en Colombia no está tan lejano de lo vivido a nivel mundial. Colombia es uno de los países con mayor riqueza hídrica, esto se debe por sus características topográficas y por su régimen hidrometeorológico, el cual es susceptible a sufrir cambios por los fenómenos climatológicos como La Niña. Nuestro país tiene grandes extensiones de tierra susceptibles a inundarse, principalmente en las partes bajas de las cuencas y en los valles de ríos como Magdalena, Cauca, Meta, Atrato y Putumayo (BID, 2007).

Resultados de estudios de riesgo de desastres en Colombia han encontrado que los fenómenos de origen hidrometeorológico se caracterizan por generar impactos

⁸ Ídem 6

más localizados pero con frecuencia alta (BIRF, 2012). Aproximadamente el 12% del territorio Colombiano se encuentra localizado en áreas susceptibles a inundación, estas áreas se encuentran agrupadas en:

- Región Oriente: Llanuras bajas de las cuencas hidrográficas de los ríos Orinoco y Amazonas.
- Región Caribe y Pacífica: Valles aluviales de los ríos Magdalena, río Sinú, San Jorge, Atrato, San Juan, Telembí, Patía y Mira.
- Valles Interandinos de los ríos Cauca y Magdalena.

Los departamentos con mayor población expuesta a sufrir inundaciones son Atlántico, Antioquia, Valle del Cauca, Cundinamarca, Córdoba, Cesar, Cauca y Meta. En cuanto a municipios, ciudades como Bogotá D.C, Cali, Barranquilla, Apartado, Chía y Jamundí tienen la más alta población ubicada en zonas de alto potencial de inundación (BIRF, 2012). Ver Figura 2-8.



Figura 2-8. División Administrativa y Red Hidrográfica de Colombia.⁹

⁹ Fuente: IGAC, 2015

En Colombia la entidad gubernamental encargada del seguimiento de las condiciones climáticas, meteorológicas e hidrológicas y del análisis de éstas es el Instituto de Meteorología, Hidrología y Estudios Ambientales IDEAM. Para el análisis de amenazas de inundación el IDEAM genera mapas de precipitación diaria y mensual, curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia IDF para diferentes regiones del país (asociadas a periodos de retorno entre 3 y 100 años) y mapas de susceptibilidad de inundación (con base a información del Instituto Geográfico Agustín Codazzi IGAC). Ver Figura 2-9.

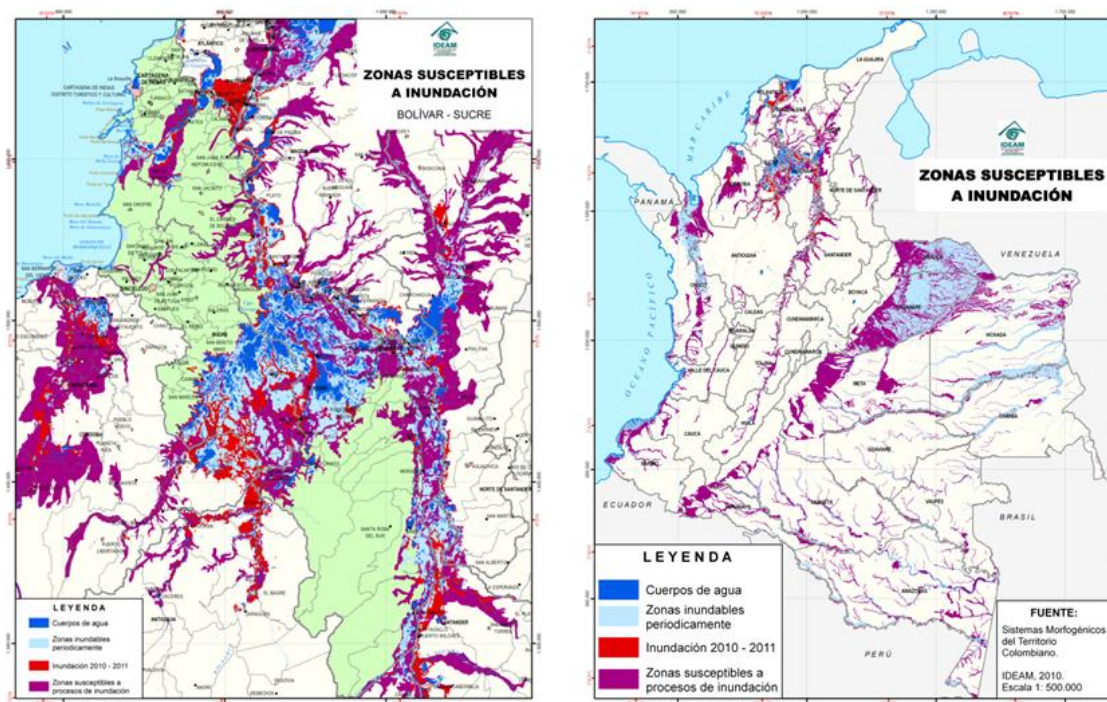


Figura 2-9. Mapas de Zonas Susceptibles a Inundación.¹⁰

A partir de las estadísticas de desastres naturales ocurridos en Colombia (DesInventar, 2011), se encontró que cada dos años en los últimos 20 años han ocurrido inundaciones que superan las 500.000 personas afectadas. Lo anterior nos

¹⁰ Fuente: IGAC – IDEAM, 2012

permite concluir que las poblaciones no están preparadas para afrontar eventos de fuertes precipitaciones y desbordamiento de ríos y que los eventos de variabilidad climática no son los únicos responsables de las inundaciones. Ver Tabla 2-2.

		Personas (1)	Heridos (2)	Muertos (3)	Desaparecidos (4)	Total afectados (1+2+3+4)	Familias afectadas	Viviendas destruidas	Viviendas averiadas	Total viviendas afectadas
Evento	Inundaciones	3 073 439	193	108	22	3 073 762	719 859	7 903	402 496	410 399
	Avalancha/ deslizamientos	506 825	265	338	19	507 447	116 991	7 042	72 599	79 641
	Otros (a)	105 181	119	21	0	105 321	22 864	378	14 021	14 399
Total		3 685 445	577	467	41	3 686 530	859 714	15 323	489 116	504 439

Tabla 2-2. Valoración de daños y pérdidas 2010 – 2011. ¹¹

2.2.5 Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad

Actualmente los conceptos de Riesgo, Amenaza y Vulnerabilidad han tomado una connotación significativa, aunque sus definiciones pueden causar confusión. La UNPD (1997) define al riesgo como “la pérdida esperada de una amenaza determinada a un elemento a riesgo determinado, durante un período de tiempo específico en el futuro”. También puede definirse como la “estimación potencial de daños de un suceso en función de la probabilidad de ocurrencia y del valor del daño” (OMM – UNESCO, 2012).

De las definiciones anteriores podemos notar que el riesgo está en función de la amenaza y de la vulnerabilidad. La amenaza se define como el evento o fenómeno asociado a una probabilidad de ocurrencia que puede causar daños y pérdidas (Rubio, 2012), es decir, que la amenaza obedece a procesos de la naturaleza. Por otro lado, la vulnerabilidad se entiende como la “propensión que tienen las cosas a sufrir daño por una amenaza” (UNPD, 1997) o como “el nivel de posibilidad que tienen las personas y cosas expuestas a una amenaza a sufrir daños” (Rubio, 2012), es decir, la vulnerabilidad está asociado a las personas. Ver Figura 2-10.

¹¹ Fuente: BID – CEPAL, 2012.

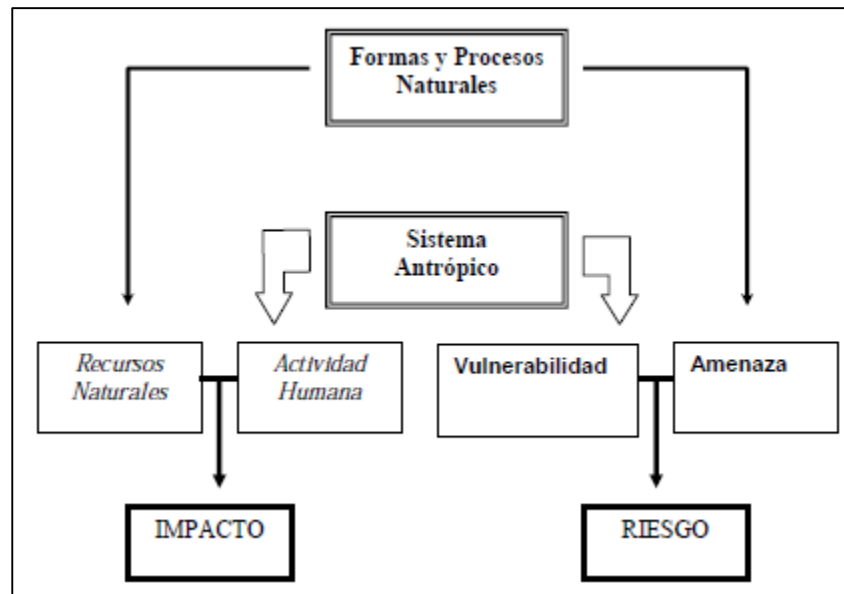


Figura 2-10. Riesgo e Impactos y sus orígenes.¹²

Los riesgos de inundación son incrementados por dos factores fundamentales (Celemín, 2009):

- Variabilidad Climática y Cambio Climático: Asociado al aumento de la intensidad, duración y frecuencia de las lluvias, fenómenos torrenciales (huracanes, tifones, tormentas tropicales).
- Actividades Humanas: Asociado al desarrollo económico insostenible.

Partiendo de lo anterior, se hace necesario crear políticas y estrategias que permitan a las comunidades combatir la variabilidad climática y el cambio climático a través del desarrollo económico sostenibles. Entre las medidas para reducir el riesgo de inundaciones tenemos (UNPD, 1997):

¹² Fuente: Celemín, 2009.

- Definición de la planicie de inundación de los ríos y representarlas en mapas de inundación.
- Mapas de amenazas asociados a la localización de asentamientos humanos y actividades económicas.
- Control del Uso del Suelo: Reducción de sobrepoblación en áreas, prohibición de actividades económicas y relocalización de asentamientos y actividades económicas.
- Diseño y construcción de obras para el control de inundación.
- Diseño e implementación de sistema de alerta temprana de inundaciones.

En nuestro contexto, la reducida gestión del riesgo en municipios ubicados en las llanuras de inundación de los ríos, el deterioro de la cobertura vegetal, la alta impermeabilización del suelo, el mal diseño y construcción de las obras de protección y la carencia de mantenimiento de las obras de reducción, son factores altamente implicados en las inundaciones periódicas de nuestro país (Sedano et al., 2013).

Es tan importante el rol de las obras de protección que éstas pueden valorizar la tierra al reducir la zona de inundación, como desvalorizarla porque al momento de fallar la estructura el valor de la tierra disminuye significativamente (Ríos, 2010). Además debe entenderse que las obras de protección frente a eventos de inundación como diques (carreteables o no), muros de contención y jarillones (OSSO, 2012):

- Solo reducen el riesgo de los bienes e individuos en su área de influencia directa, no lo eliminan.
- Los riesgos no son constante, son dinámicas y pueden incrementarse si se modifican las condiciones del entorno.
- El riesgo para asentamientos urbanos es diferente al riesgo para terrenos para ser usados en agricultura o ganadería.

- El proceso de selección de alternativas sobre las medidas para reducción y control del riesgo de inundación genera conflictos políticos, ambientales y económicos.
- Pueden funcionar como factor para el aumento de la vulnerabilidad, no solo para su disminución.

Ahora bien, otra de las estrategias para mitigar el riesgo de inundación son los sistemas de alerta temprana. Un sistema de alerta temprana se define como el conjunto de procedimientos e instrumentos por medio de los cuales se monitorea una amenaza de carácter previsible, en donde se recolectan y procesan datos e información, obteniendo así pronósticos o predicciones temporales sobre su acción y posibles efectos (UNESCO, Comisión Europea & CEPREDENAC, 2011). A su vez los sistemas de alerta temprana se dividen en dos categorías (De Gonzalo, 2011):

- Centralizados: Procedimiento e instrumentos con los cuales se registran las precipitaciones y se simulan las inundaciones en tiempo real, para ellos utilizan un conjunto integrado de modelos matemáticos de hidrología e hidráulica y sensores remotos.
- Descentralizados: Básicamente se utiliza un instrumento para medir el nivel del río, dependiendo del nivel del río se activan las alarmas. Son operados por entes comunitarios.

Actualmente existen metodologías robustas para la definición e implementación de sistemas de alerta temprana las cuales utilizan sensores remotos y modelos matemáticos, como por ejemplo el Sistema de Alerta Temprana para Centroamérica (SATCA) administrado por el CEPREDENAC. Además existen metodologías menos robustas como la Guía de Inundaciones Repentinadas de Centroamérica publicada por el CEPREDENAC en el 2012, o el Manual para el Diseño e Implementación de un Sistema de Alerta Temprana de Inundaciones en Cuencas Menores publicada por la Organización de los Estados Americanos en el 2001. Estas dos metodologías utilizan como información base para definir los niveles de alerta temprana de

inundación los registros máximos anuales del río de estudio o la cota corona de la obra de protección, según sea el caso, es decir que utilizan aquellos eventos de inundación asociados al riesgo hidrológico ignorando las inundaciones asociadas a fallas estructurales de la obra de protección (riesgo hidráulico).

De acuerdo a todo lo anterior los niveles de alerta de inundación no deben ser definidos solamente a partir de las cotas coronas de los diques, las cuales están establecidas a partir de la probabilidad de que un nivel sea igualado o excedido en un periodo de tiempo, sino también a aquellas inundaciones que han ocurrido por debajo de este nivel, las cuales están asociadas a fallas estructurales de las obras de protección.

En nuestro caso, consideraremos riesgo hidrológico a las inundaciones debido al desbordamiento del río de su cauce activo y riesgo hidráulico a las inundaciones debido a rotura de la obra de protección. Tener en cuenta estos parámetros en la estimación de los niveles de alerta permitirá tener alertas más enfocadas a la vulnerabilidad de cada municipio ubicado en las márgenes de ríos.

3 METODOLOGÍA INVESTIGATIVA

En el presente capítulo se expondrá la metodología investigativa utilizada en este trabajo para la consecución de todos los objetivos anteriormente planteados. En este capítulo explicaremos cada paso, en el siguiente se presentarán los resultados.

A continuación en la Figura 3-1 se presenta la metodología aplicada para la estimación de niveles de alerta de inundación.

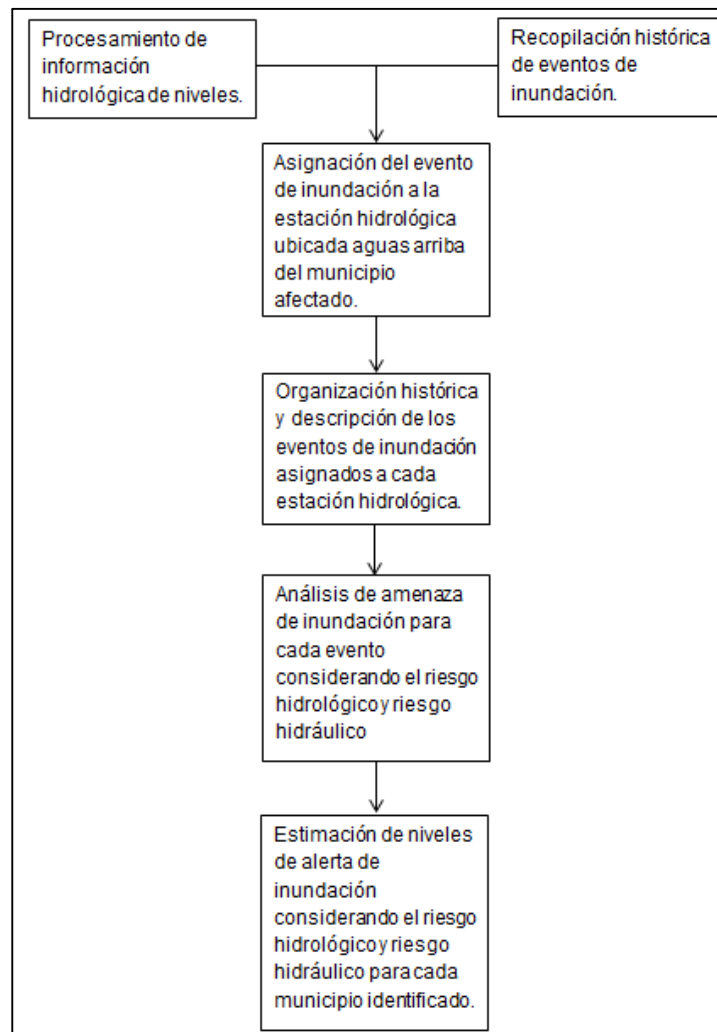


Figura 3-1. Metodología propuesta y aplicada para la estimación de niveles de alerta de inundación.

Teniendo en cuenta que las metodologías actuales para definir niveles de alerta de inundación se basan en los niveles de excedencia máximos del río o en la cota corona de la obra de protección, en esta investigación se propone una metodología para estimar niveles de alerta a partir de los niveles del río a los cuales ocurrieron inundaciones, sea por desbordamiento del río (riesgo hidrológico) o por falla estructural de la obra de protección (riesgo hidráulico).

El proceso de estimación de niveles de alerta inicia con la recopilación histórica de eventos de inundación asociada al cauce de estudio y con el procesamiento de información de niveles del río en las estaciones hidrológicas. Luego, se asigna cada evento de inundación a la estación hidrológica ubicada inmediatamente aguas arriba del municipio, se organiza y describe cada inundación, se realiza un análisis de amenaza de inundación por estación hidrológica y finalmente se estiman los niveles de alerta para cada municipio con base a los registros de inundaciones tanto de riesgo hidrológico como riesgo hidráulico.

Debe tenerse en cuenta que el nivel de alerta roja de inundación se refiere a tomar acciones correctivas, el nivel de alerta naranja se refiere a tomar acciones preventivas y el nivel de alerta amarilla se refiere a tomar acciones informativas.

3.1 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLOGICA DE NIVELES DEL RÍO

Las estaciones hidrológicas a utilizar deben tener las siguientes características:

- Cantidad Suficiente: Tal que permita cubrir toda la longitud del tramo de río a analizar.
- Distribución Espacial: Su localización geográfica debe estar distribuida proporcionalmente a lo largo del cauce.
- Registro Histórico de Niveles: Aunque no se exige un rango histórico de niveles, se espera que la amplitud del registro debe cubrir eventos extremos

(El Niño y La Niña). Se sugiere registro histórico de niveles de 20 años en adelante.

- Registro Diario de Niveles: Las estaciones hidrológicas deben contar con registro diario y continuo de niveles a lo largo del año.
- Cota Cero de la mira de la estación hidrológica.
- Cota de Inundación y/o Niveles de Alerta de Inundación: Se sugiere tener esta información para que funcione como guía en la estimación de los niveles de alerta de inundación de los municipios.

Con el objeto de entender el comportamiento de los niveles a lo largo del río Magdalena deben hacerse los siguientes cálculos:

- Frecuencia de Niveles Excedidos: Identificando los niveles de excedencia del 90%, 50% y 10%, además del nivel máximo y nivel mínimo diario multianual.
- Curva de Duración: Porcentaje de tiempo excedido de los niveles.
- Análisis de Máximos Anuales: Periodo de retorno de los niveles máximos anuales.

3.2 RECOPIACIÓN HISTORICA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN ASOCIADAS AL RIO DE ESTUDIO

La fuente de información de eventos de inundación puede ser oficial (entidades del Estado), estudios de consultoría y/o investigación o noticias de periódicos nacionales o regionales.

Para cada evento de inundación se necesita la siguiente información:

- Fecha de Inundación.
- Municipio Afectado.
- Causa de la Inundación: Desbordamiento del río o falla estructural de la obra de protección.

3.3 ASIGNACION DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN A LAS ESTACIONES HIDROLOGICAS DEL IDEAM.

A través de un mapa de localización geográfica se ubican los municipios afectados por inundaciones y las estaciones hidrológicas a utilizar. Cada municipio debe ser asignado a la estación hidrológica ubicada aguas arriba de este.

Para realizar este paso, puede utilizarse mapas oficiales o imágenes satelitales.

3.4 ORGANIZACIÓN Y DESCRIPCION DE LOS EVENTOS DE INUNDACION

Teniendo asignados los eventos de inundación para cada estación hidrológica, se procede a organizar históricamente esta información desde el suceso más reciente al más antiguo.

Además para cada evento se identifica el municipio afectado, la causa de la inundación y el nivel del río en la estación hidrológica aguas arriba para el día que ocurrió el evento.

3.5 ANALISIS DE AMENAZA DE INUNDACION DE CADA EVENTO CONSIDERANDO EL RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO

Para cada evento inundación se hace el siguiente cálculo:

- Periodo de retorno del nivel de inundación a partir del análisis de máximos anuales de la estación.
- Nivel del río en la estación hidrológica ubicada aguas abajo del municipio para la fecha de la inundación.
- Niveles del río en la estación hidrológica ubicada aguas arriba del municipio: Niveles de la fecha de inundación, un día antes del evento y dos días antes del evento.

Además cada evento de inundación debe señalarse en las siguientes gráficas de la estación hidrológica:

- Frecuencia de Niveles Excedidos.
- Curva de Duración.
- Curva de Periodo de retorno de los niveles máximos anuales.

3.6 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PARA CADA MUNICIPIO AFECTADO.

Con base al análisis de amenaza de inundación de los eventos ocurridos en cada municipio, se procede a realizar un ajuste de distribución de probabilidad de los niveles a los cuales ocurrieron inundaciones (riego hidrológico y riesgo hidráulico) de la estación hidrológica asignada a esa población. Se utilizaron las distribuciones de probabilidad Weibull, Normal, Logística y Gumbel para ajustar los datos. Aquellos municipios que tiene en sus registros solo una inundación, sus niveles de alerta fueron definidos con base en el análisis de excedencia de máximos anuales de la estación hidrológica a la cual está asignado.

Adicionalmente se compararon los niveles de alerta de inundación de los municipios con los niveles de alerta o cota de inundación, según sea el caso, de las estaciones hidrológicas. Esto con el fin de analizar las diferencias presentes en la vulnerabilidad de cada municipio frente a sufrir inundación.

Además se calcula el período de retorno de la cota de inundación o niveles de alerta de las estaciones hidrológicas seleccionadas, para así conocer el grado de vulnerabilidad de todo el sistema para control de inundación.

4 RESULTADOS

Como caso de estudio se utilizó el tramo del río Magdalena entre el Puente Pumarejo (K0) y Puerto Salgar (K940), lo que equivale al 58% de su longitud total. A continuación se presentan los resultados obtenidos al aplicar la metodología propuesta, inicialmente se expondrá unas generalidades acerca del río Magdalena.

4.1 GENERALIDADES DEL RÍO MAGDALENA

El río Grande de la Magdalena nace en la laguna de La Magdalena a 3685 metros sobre el nivel del mar (msnm), en la región conocida como el Macizo Colombiano en el departamento del Huila. Desemboca en el mar Caribe en el sitio conocido como Bocas de Ceniza, próximo a Barranquilla. Se estima que su cuenca hidrográfica alcanza los 266541 Km², equivalente al 23% de la superficie continental del país, abarcando un total de 731 municipios. Su cauce tiene una dirección predominante Sur – Norte y una longitud de 1615 Km (Alvarado, 2008). Ver Figura 4-1 y Figura 4-2.



Figura 4-1. Localización general del río Magdalena.¹³

¹³ Fuente: Karnstedt, 2010.



Figura 4-2. Recorrido del río Magdalena. ¹⁴

Los estudios de hidráulica fluvial recomiendan dividir el río Magdalena en:

- Cuenca Alta: La longitud del tramo es de 638 Km, comprendido entre su nacimiento en la laguna de La Magdalena y el Salto de Honda, próxima a la ciudad del mismo nombre en el departamento del Tolima. Abarca hasta este punto una cuenca hidrográfica de 55441 Km² y un caudal medio multianual de 1385 m³/s.
- Cuenca Media: La longitud del tramo es de 501 Km, comprendido entre el Salto de Honda y Regidor (Bolívar). Hasta este punto el caudal medio multianual es 4200 m³/s.
- Cuenca Baja: La longitud del tramo es de 476 Km, comprendido entre Regidor (Bolívar) y la desembocadura en Bocas de Ceniza. El caudal medio multianual en su desembocadura es 7100 m³/s.

¹⁴ Fuente: INVÍAS, 2015.

El Laboratorio de Ensayos Hidráulicos Las Flores el cual pertenece al convenio Corporación Autónoma Regional del Río Grande de la Magdalena – Universidad del Norte, desde 1986 hasta la fecha realiza mediciones de corrientes y batimétricas en el río Magdalena en el tramo Bocas de Ceniza – La Gloria (Cesar). Resultado de sus trabajos son lo presentado en la Tabla 4-1 y Tabla 4-2, donde se observa la variación de caudales del río Magdalena en las estaciones hidrológicas del IDEAM y los niveles del río bajo diferentes periodos de retorno para el tramo entre Calamar (K93) y Regidor (K454). Recordar que el abscisado utilizado en este documento tiene como abscisa inicial (K0) el Puente Pumarejo en Barranquilla.

Estación	Abscisa (K)	Caudal Promedio Anual (m3/s)			Caudal Máximo Absoluto (m3/s)	Caudal Máximo Absoluto (m3/s)
		Medio	Máximo	Mínimo		
Regidor	454	4110	6002	2568	8865	1064
El Banco	400	4303	6689	2522	11160	934
Armenia	331	2874	2987	2358	3740	1335
Magangué	252	5467	6325	4617	7895	1864
Calamar	93	7236	10678	4701	13575	1520

Tabla 4-1. Variación de caudales en el río Magdalena entre Calamar (K93) – Regidor (454).¹⁵

Periodo de Retorno (años)	Regidor (K454)		El Banco (K400)		Magangué (K252)		Calamar (K93)	
	Máximo (msnm)	Mínimo (msnm)	Máximo (msnm)	Mínimo (msnm)	Máximo (msnm)	Mínimo (msnm)	Máximo (msnm)	Mínimo (msnm)
5	34,61	28,65	28,34	22,45	18,71	11,82	7,91	1,69
10	34,77	28,28	28,54	22,16	18,88	11,57	8,19	1,44
25	34,89	27,96	28,67	21,95	18,99	11,44	8,45	1,27
50	34,99	27,6	28,79	21,75	19,08	11,35	8,61	1,2
100	35,05	27,36	28,85	21,65	19,12	11,32	8,73	1,15

Tabla 4-2. Niveles del río Magdalena bajo diferentes Periodos de Retorno Calamar (K93) – Regidor (454).¹⁶

¹⁵ Fuente: Alvarado, 2008.

¹⁶ Ídem 15

Además el Laboratorio de Ensayos Hidráulicos de Las Flores ha construido gráficas donde relacionan el nivel del río Magdalena en la estación IDEAM Calamar (K93) con el caudal en Barranquilla (K0). Ver Figura 4-3.

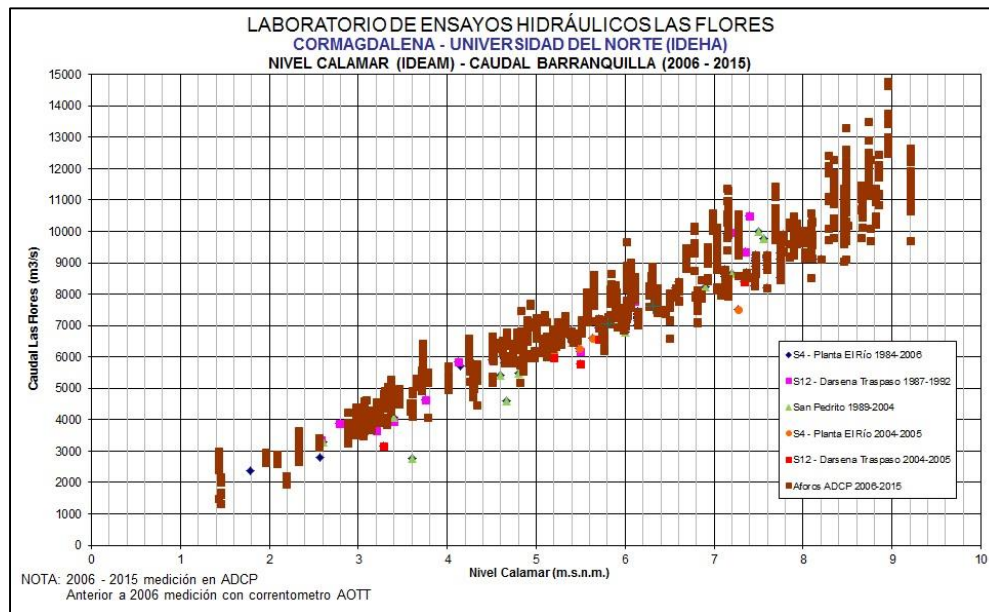


Figura 4-3. Curva de Nivel Calamar – Caudal Barranquilla. ¹⁷

4.2 PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN HIDROLOGICA DE NIVELES DEL RIO MAGDALENA EN ESTACIONES IDEAM

En la presente investigación se tomó un tramo de 940 Km del río Magdalena, entre el Puente Laureano Gómez “Pumarejo” en Barranquilla (Atlántico) hasta Puerto Salgar (Cundinamarca). Para efectos de este estudio la abscisa inicial estará ubicada en el Puente Pumarejo (K0) y la final en Puerto Salgar (K940).

Actualmente en el tramo de estudio el IDEAM tiene 39 estaciones hidrológicas, pero solo 9 estaciones cumplieron las condiciones presentadas en el numeral 3.1. A

¹⁷ Fuente: LEH – LF, 2015.

continuación se presentan las estaciones hidrológicas del IDEAM seleccionadas con sus características:

Nombre de la Estación	Localización Geográfica			Coordenadas Geográficas		Periodo de Medición	Cota Cero Mira (msnm)
	Municipio	Departamento	Abscisa	Latitud (N)	Longitud (W)		
Calamar	Calamar	Bolívar	K93	10°15'13.9"	74°54'42.1"	1967 - 2014	-0.02
Plato	Plato	Magdalena	K167	9°47'23.6"	74°47'34.1"	1980 - 2013	0.045
Magangué	Magangué	Bolívar	K252	9°15'14.5"	74°44'19.3"	1980 - 2014	9.241
El Banco	El Banco	Magdalena	K400	8°59'33.1"	73°58'10"	1980 - 2014	19.57
Gamarra	Gamarra	Cesar	K500	8°19'16.9"	73°44'46.4"	1980 - 2012	32.308
Puerto Wilches	Puerto Wilches	Santander	K638	7°20'39.8"	73°54'18.2"	1980 - 2012	59.135
Barrancabermeja	Barrancabermeja	Santander	K660	7°3'36.7"	73°52'33.6"	1980 - 2012	70.487
Puerto Berrio	Puerto Berrio	Antioquia	K765	6°29'6.5"	74°24'4.2"	1980 - 2012	104.579
Puerto Salgar	Puerto Salgar	Cundinamarca	K940	5°28'9.2"	74°39'42.1"	1980 - 2012	165.92

Tabla 4-3. Estaciones Hidrológicas IDEAM seleccionadas. ¹⁸

Respecto a análisis de eventos de inundación estas estaciones cuentan con la siguiente cota de inundación o niveles de alerta (Ver Tabla 4-4). Además en la Figura 4-4 se puede observar la localización geográfica de estas estaciones en Google Earth.

Nombre de la Estación	Cota de Inundación (msnm)	Niveles de Alerta de Inundación (msnm)		
		Roja	Naranja	Amarilla
Calamar	9.85	-	-	-
Plato	-	13.65	13.05	12.25
Magangué	17.72	-	-	-
El Banco	-	27.87	27.47	26.87
Gamarra	39.11	-	-	-
Puerto Wilches	65.24	-	-	-
Barrancabermeja	-	75.09	74.79	74.49
Puerto Berrio	-	110.38	109.88	109.38
Puerto Salgar	-	171.32	170.92	170.42

Tabla 4-4. Cotas de Inundación y Niveles de Alerta en Estaciones IDEAM Seleccionadas. ¹⁹

¹⁸ Fuente: IDEAM, 2013.

¹⁹ Fuente: IDEAM, 2014.

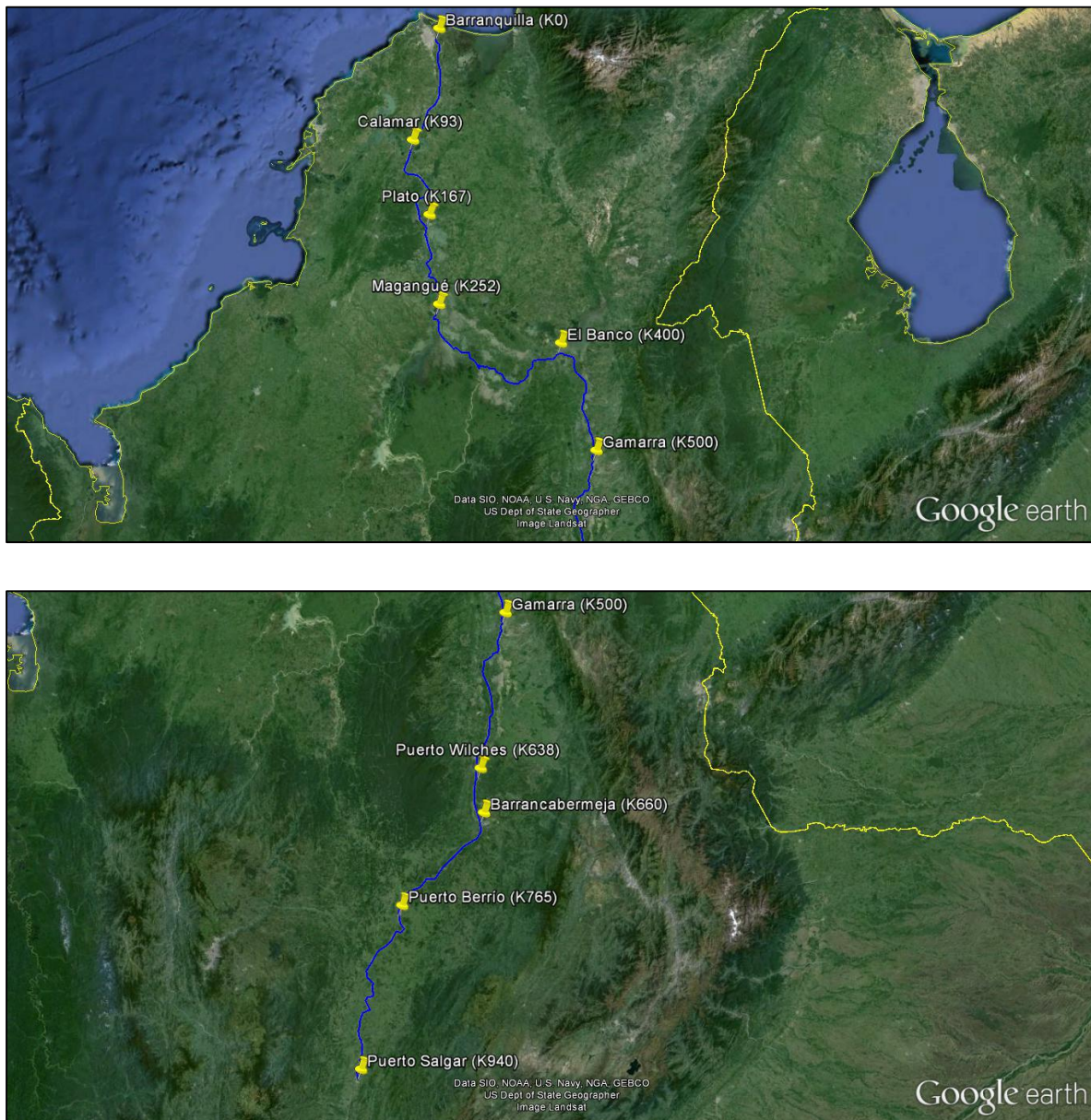


Figura 4-4. Localización geográfica de estaciones IDEAM seleccionadas.²⁰

²⁰ Fuente: Google Earth, 2015.

Para entender el comportamiento hidrológico del río Magdalena y analizar como éste puede afectar a las poblaciones ubicadas en sus márgenes, se realizó los siguientes análisis:

- Frecuencia de Niveles Excedidos: Indica la probabilidad a la cual un nivel para un día específico es igualado o excedido. En nuestro caso calcularemos los niveles de excedencia del 90%, 50% y 10%, además del nivel máximo y nivel mínimo diario multianual. Ver Numeral 4.4
- Curva de Duración: Representa el porcentaje de tiempo en que un nivel específico es igualado o superado para el periodo de registro analizado. Ver Numeral 4.4
- Análisis de Máximos Anuales: Determina el Periodo de Retorno asociado a los niveles máximos anuales del periodo de registro analizado. Entiéndase el Periodo de Retorno como el tiempo promedio en años en que un nivel es igualado o superado. Ver Numeral 4.4

4.3 RECOPIACIÓN HISTORICA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN RELACIONADOS CON EL RÍO MAGDALENA

Para la búsqueda de eventos de inundación relacionados con los municipios ubicados en las márgenes del río Magdalena se consultó a la base de datos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (Ver Tabla 4-5; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), el registro de inundaciones obtenida de esta entidad fue entre 1995 – 2012. Además se investigó en periódicos de influencia nacional (El Tiempo) y de influencia regional (El Heraldó, El Universal, entre otros). Ver Figura 4-5.

FECHA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	COMENTARIOS	PERSONAS AFECTADAS	FAMILIAS AFECTADAS	VIVIENDAS AVERIADAS	HECTAREAS
06/08/2010	MAGDALENA	SANTA ANA	DESBORDAMIENTO RIO MAGDALENA, Y QUEBRADA CHIMICUICA, COROZAL Y LA MOCHA. CORREGIMIENTOS SAN FERNANDO Y JABARA. REPORTE DE LA DEFENSA CIVIL.	4405	881	881	205
01/08/2010	MAGDALENA	CONCORDIA	DESBORDAMIENTO RIO MAGDALENA CORREGIMIENTOS DEL BALSAMO ROSARIO DE CHENGUE BELLAVISTA.	8051	2176	2110	
01/08/2010	MAGDALENA	EL BANCO	CABECERA MUNICIPAL Y DIFERENTES CORREGIMIENTOS: EL CERRITO, SAN FELIPE, LA CURVA, BELEN, AGUAESTRADA, LOS NEGRITOS, ALGARROBAL, BARRANCO DE CHILLOA, CAÑO DE PALMA FLORIDA, . DESBORDAMIENTO RIO MAGDALENA.	40750	8150	1263	
01/08/2010	MAGDALENA	REMOLINO	DESBORDAMIENTO RIO MAGDALENA CABECERA MUNICIPAL Y CORREGIMIENTO DE LAS CASITAS Y VEREDA EL SALAO. REPORTE DEL CREPAD.	8236	2226	2224	
01/08/2010	MAGDALENA	SITONUEVO	ISLA PENNSILVANIA, ISLA ROSA MARIA, VEREDA CARMONA, VEREDA SAN ANTONIO, VILLA CLARIN KM 2, KM7, LA PLAYITA, CAÑO VALLE, RODEO, ZARCITA, ISLA SAN JOSE. DESBORDAMIENTO RIO MAGDALENA, CAÑO AGUAS NEGRAS Y CLARIN.	19005	3801	1400	
13/12/2008	MAGDALENA	PLATO	ROMPIMIENTO DEL JARILLON PERIMETRAL. RIO MAGDALENA	22000	4500		

Tabla 4-5. Reporte de inundaciones emitidos por la UNGRD.²¹



Figura 4-5. Ejemplo de reporte de Noticias de periódicos nacionales y regionales.²²

²¹ Fuente: UNGRD, 2015.

²² Fuente: El Tiempo, 2007.

4.4 ASIGNACION A ESTACIONES HIDROLOGICAS, ORGANIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DE LOS EVENTOS DE INUNDACIÓN.

Identificando los municipios afectados por inundaciones, sea por desbordamiento del río o por falla estructural de la obra de protección, se procede a asignar cada municipio a la estación hidrológica IDEAM más cercana ubicada aguas arriba de éste. Ver Tabla 4-6

Municipio	Departamento	Nombre de Estación IDEAM asociada
Remolino	Magdalena	Calamar
Sitionuevo	Magdalena	Calamar
Cerro de San Antonio	Magdalena	Calamar
Suan	Atlantico	Calamar
Malambo	Atlantico	Calamar
Ponedera	Atlantico	Calamar
Robles	Bolivar	Plato
San Agustín	Bolivar	Plato
Tenerife	Magdalena	Plato
Cordoba	Bolivar	Magangué
Tacaloa	Bolivar	Magangué
Zambrano	Bolivar	Magangué
Tacamocha	Bolivar	Magangué
Altos del Rosario	Bolivar	El Banco
Barranco de Loba	Bolivar	El Banco
Hatillo de Loba	Bolivar	El Banco
Pinillos	Bolivar	El Banco
San Martin de Loba	Bolivar	El Banco
El Peñon	Bolivar	Gamarra
Tamalameque	Bolivar	Gamarra
La Gloria	Cesar	Gamarra
Arenal del Sur	Bolivar	Gamarra
Regidor	Cesar	Gamarra
Cantagallo	Bolivar	Puerto Wilches
Loma de Corredor	Bolivar	Puerto Wilches
Morales	Bolivar	Puerto Wilches
San Pablo	Bolivar	Puerto Wilches
Simiti	Bolivar	Puerto Wilches
Yondo	Antioquia	Puerto Berrio
Puerto Boyaca	Boyaca	Puerto Salgar
Puerto Nare	Antioquia	Puerto Salgar
Puerto Triunfo	Antioquia	Puerto Salgar

Tabla 4-6. Municipios afectados por inundaciones de acuerdo a las fuentes de información.

Seguidamente, se presenta la localización geográfica de los municipios identificados en esta investigación. Ver Figura 4-6 a la Figura 4-12.



Figura 4-6. Localización municipios entre Barranquilla (Atlántico) – Zambrano (Bolívar)²³

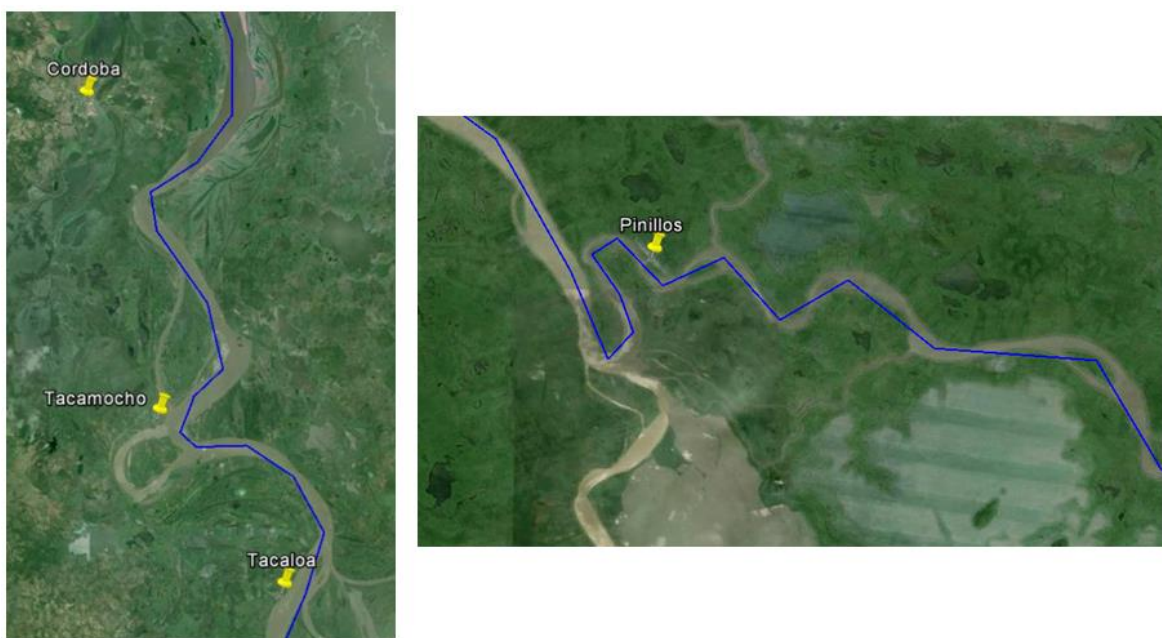


Figura 4-7. Localización municipios entre Cordoba (Bolívar) – Pinillos (Bolívar)²⁴

²³ Ídem 20

²⁴ Ídem 20



Figura 4-8. Localización municipios entre Altos del Rosario (Bolívar) – San Martín de Loba (Bolívar).²⁵

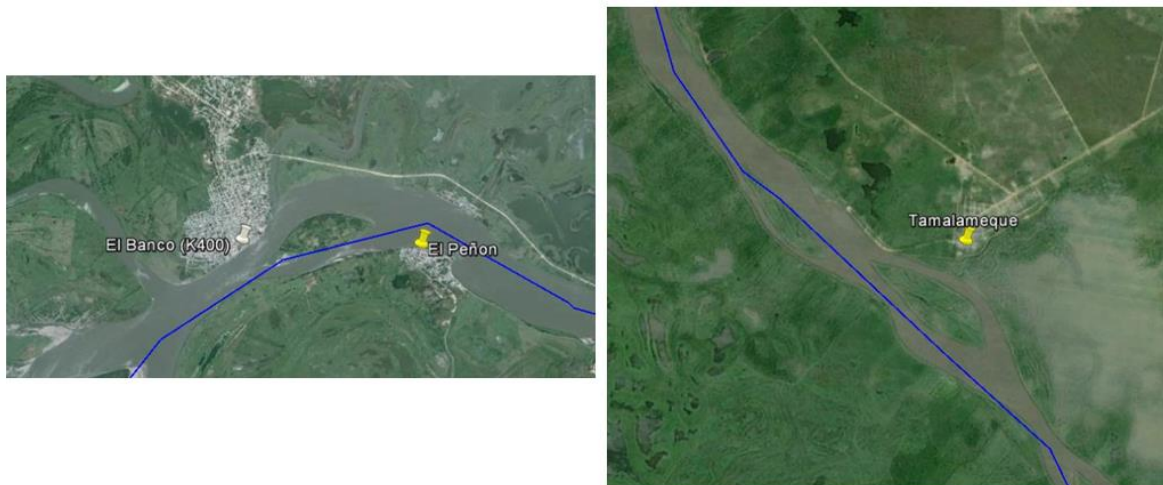


Figura 4-9. Localización municipios entre El Banco (Magdalena) – Tamalameque (Cesar)²⁶

²⁵ Ídem 20

²⁶ Ídem 20

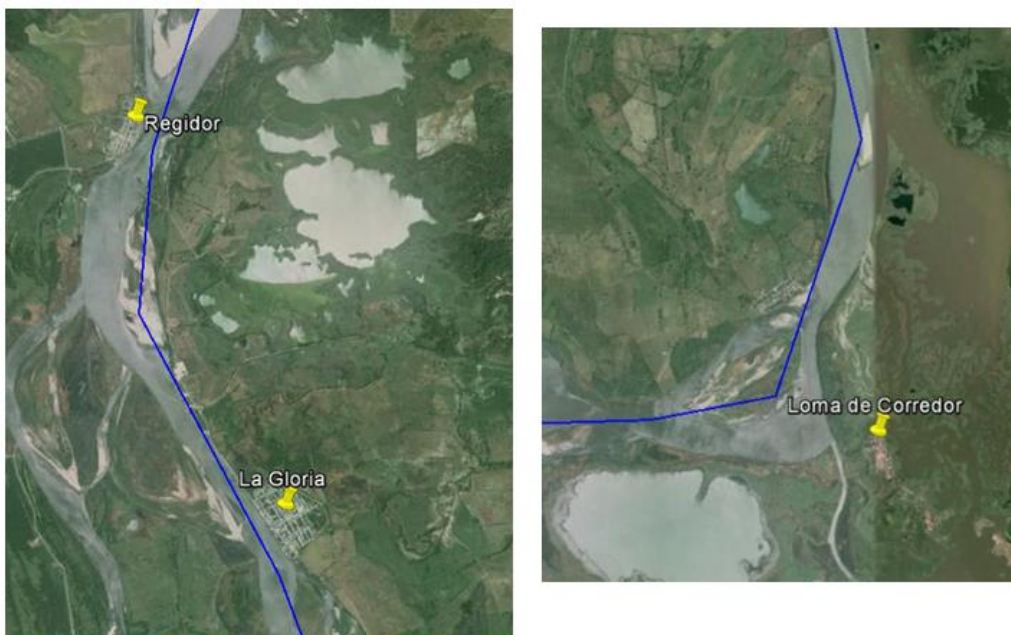


Figura 4-10. Localización entre municipios Regidor (Bolívar) – Loma de Corredor (Cesar)²⁷

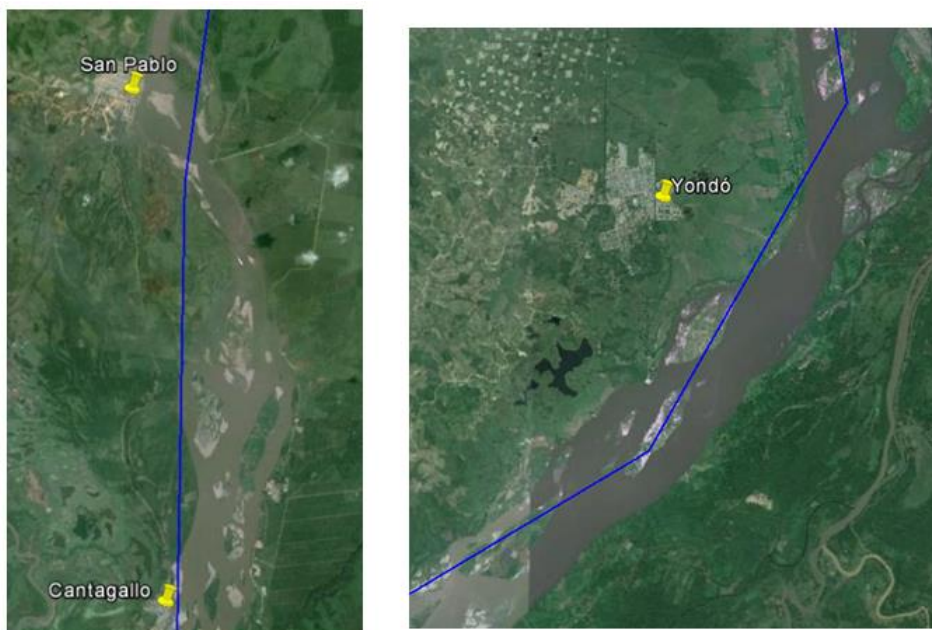


Figura 4-11. Localización entre municipios San Pablo (Bolívar) – Yondó (Antioquia)²⁸

²⁷ Ídem 20

²⁸ Ídem 20



Figura 4-12. Localización entre municipios Puerto Nare (Antioquia) – Puerto Triunfo (Antioquia).²⁹

Además se organizaron las inundaciones desde la más reciente a la más antigua, describiendo al lado de cada una el municipio afectado y el riesgo asociado. Recordar que el riesgo hidrológico está relacionado con desbordamiento del río por niveles máximos y el riesgo hidráulico está relacionado con falla estructural de la obra de protección. El criterio de selección para identificar el riesgo asociado a cada evento de inundación fue hecho con base a la información recopilada.

A continuación en las siguientes tablas se observa los eventos de inundación asignados a cada estación hidrológica. Ver Tabla 4-7 a la Tabla 4-15.

²⁹ Ídem 20.

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	05/10/2010	Malambo	Atlántico	1	
2	01/08/2010	Remolino	Magdalena	1	
3	01/08/2010	Sitionuevo	Magdalena	1	
4	02/11/2008	Malambo	Atlántico	1	
5	16/11/2007	Calamar	Bolivar	1	
6	16/11/2007	Cerro de San Antonio	Magdalena	1	
7	19/06/2007	Suan	Atlántico	1	
8	27/07/1999	Ponedera	Atlántico		1

Tabla 4-7. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Calamar (K93).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	20/05/2011	Plato	Magdalena	1	
2	20/05/2011	Tenerife	Magdalena	1	
3	23/12/2010	Tenerife	Magdalena	1	
4	03/12/2010	Robles	Bolivar	1	
5	03/12/2010	San Agustín	Bolivar	1	
6	11/10/2010	San Agustín	Bolivar	1	
7	12/08/2010	Plato	Magdalena	1	
8	06/08/2010	Plato	Magdalena	1	
9	13/12/2008	Plato	Magdalena		1
10	20/11/2007	Robles	Bolivar	1	
11	15/06/2007	Tenerife	Magdalena	1	
12	27/11/2003	Plato	Magdalena	1	

Tabla 4-8. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Plato (K167).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	29/11/2011	Magangue	Bolivar	1	
2	04/05/2011	Tacaloa	Bolivar	1	
3	03/05/2011	Cordoba	Bolivar	1	
4	03/12/2010	Tacamocho	Bolivar	1	
5	09/11/2010	Magangue	Bolivar	1	
6	01/08/2010	Magangue	Bolivar	1	
7	26/11/2008	Zambrano	Bolivar	1	
8	23/07/2008	Magangue	Bolivar	1	
9	24/11/2003	Cordoba	Bolivar	1	

Tabla 4-9. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Magangué (K252).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	10/05/2012	El Banco	Magdalena	1	
2	26/11/2011	El Banco	Magdalena	1	
3	28/04/2011	Hatillo de Loba	Bolivar		1
4	04/04/2011	Altos del Rosario	Bolivar	1	
5	04/04/2011	Hatillo de Loba	Bolivar	1	
6	04/04/2011	Pinillos	Bolivar	1	
7	01/08/2010	El Banco	Magdalena	1	
8	31/07/2010	Altos del Rosario	Bolivar	1	
9	25/07/2010	Pinillos	Bolivar	1	
10	13/12/2008	El Banco	Magdalena		1
11	28/11/2008	San Martin de Loba	Bolivar	1	
12	28/11/2008	Hatillo de Loba	Bolivar	1	
13	12/11/2008	Altos del Rosario	Bolivar	1	
14	04/06/2008	Altos del Rosario	Bolivar	1	
15	04/06/2008	Hatillo de Loba	Bolivar	1	
16	04/06/2008	Pinillos	Bolivar	1	
17	03/11/2007	El Banco	Magdalena	1	
18	22/11/2006	El Banco	Magdalena	1	
19	08/05/2006	Altos del Rosario	Bolivar	1	
20	11/11/2004	Hatillo de Loba	Bolivar	1	
21	24/11/2003	Barranco de Loba	Bolivar	1	
22	12/11/2003	El Banco	Magdalena	1	
23	11/05/1998	El Banco	Magdalena	1	

Tabla 4-10. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM El Banco (K400).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	07/12/2011	Tamalameque	Cesar		1
2	28/04/2011	Regidor	Bolivar	1	
3	28/04/2011	El Peñon	Bolivar	1	
4	22/04/2011	Tamalameque	Cesar	1	
5	22/04/2011	La Gloria	Cesar	1	
6	22/04/2011	Gamarra	Cesar	1	
7	18/04/2011	Tamalameque	Cesar		1
8	18/04/2011	La Gloria	Cesar		1
9	18/04/2011	Gamarra	Cesar		1
10	04/04/2011	El Peñon	Bolivar	1	
11	04/04/2011	Regidor	Bolivar	1	
12	04/04/2011	Arenal	Bolivar	1	
13	23/11/2010	Gamarra	Cesar	1	
14	20/11/2010	El Peñon	Bolivar		1
15	18/11/2010	Gamarra	Cesar	1	
16	01/10/2010	Tamalameque	Cesar	1	
17	22/07/2010	La Gloria	Cesar	1	
18	20/07/2010	Tamalameque	Cesar	1	
19	28/11/2008	El Peñon	Bolivar	1	
20	28/11/2008	Regidor	Bolivar	1	
21	02/11/2008	La Gloria	Cesar	1	
22	04/06/2008	Regidor	Bolivar	1	
23	04/06/2008	Tamalameque	Cesar	1	
24	04/06/2008	La Gloria	Cesar	1	
25	04/06/2008	Gamarra	Cesar	1	
26	06/11/2007	Gamarra	Cesar	1	
27	10/05/2007	Gamarra	Cesar	1	
28	07/05/2006	La Gloria	Cesar	1	
29	08/11/2005	La Gloria	Cesar	1	
30	01/11/2005	Gamarra	Cesar	1	
31	31/05/2005	Gamarra	Cesar	1	
32	19/05/2005	Tamalameque	Cesar	1	
33	07/11/2004	Arenal	Bolivar	1	
34	26/05/2004	Gamarra	Cesar	1	
35	20/05/2004	Tamalameque	Cesar	1	
36	03/11/2003	Tamalameque	Cesar	1	
37	22/05/2000	Tamalameque	Cesar	1	
38	06/05/1999	Tamalameque	Cesar	1	
39	06/05/1999	La Gloria	Cesar	1	
40	06/05/1999	Gamarra	Cesar	1	
41	23/02/1999	Arenal	Bolivar	1	
42	09/07/1998	Regidor	Bolivar	1	
43	12/06/1998	Arenal	Bolivar	1	
44	07/05/1998	Tamalameque	Cesar	1	
45	04/05/1998	El Peñon	Bolivar	1	

Tabla 4-11. Eventos de inundación asignados a la estación IDEA Gamarra (K500).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	19/11/2011	Puerto Wilches	Santander	1	
2	28/04/2011	Cantagallo	Bolívar	1	
3	28/04/2011	San Pablo	Bolívar	1	
4	22/04/2011	Loma de Corredor	Cesar	1	
5	18/04/2011	Cantagallo	Bolivar	1	
6	16/04/2011	Puerto Wilches	Santander	1	
7	04/04/2011	San Pablo	Bolivar	1	
8	04/04/2011	Simiti	Bolivar	1	
9	01/04/2011	Morales	Bolivar	1	
10	10/11/2010	Morales	Bolivar	1	
11	10/11/2010	San Pablo	Bolivar	1	
12	29/09/2010	Puerto Wilches	Santander	1	
13	28/07/2010	Morales	Bolivar	1	
14	19/07/2010	Puerto Wilches	Santander	1	
15	27/11/2008	San Pablo	Bolivar	1	
16	04/06/2008	Morales	Bolivar	1	
17	04/06/2008	San Pablo	Bolivar	1	
18	04/06/2008	Simiti	Bolivar	1	
19	26/05/2008	Puerto Wilches	Santander	1	
20	07/11/2007	Simiti	Bolivar	1	
21	01/11/2007	Puerto Wilches	Santander	1	
22	24/10/2007	Puerto Wilches	Santander		1
23	04/05/2007	Simiti	Bolivar	1	
24	08/11/2005	Loma de Corredor	Cesar	1	
25	01/11/2005	Cantagallo	Bolivar	1	
26	30/10/2005	Puerto Wilches	Santander	1	
27	05/06/2000	Cantagallo	Bolivar	1	
28	05/06/2000	San Pablo	Bolivar	1	
29	05/06/2000	Simiti	Bolivar	1	
30	22/05/2000	Loma de Corredor	Cesar	1	
31	23/02/1999	Puerto Wilches	Santander	1	

Tabla 4-12. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	17/12/2011	Barrancabermeja	Santander	1	
2	16/04/2011	Barrancabermeja	Santander	1	
3	09/11/2010	Barrancabermeja	Santander	1	
4	19/07/2010	Barrancabermeja	Santander	1	
5	22/03/2009	Barrancabermeja	Santander	1	
6	09/11/2004	Barrancabermeja	Santander	1	
7	22/02/1999	Barrancabermeja	Santander	1	
8	11/05/1996	Barrancabermeja	Santander	1	

Tabla 4-13. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Barrancabermeja (K660).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	09/11/2010	Yondo	Antioquia	1	
2	20/11/2008	Yondo	Antioquia	1	
3	04/11/2007	Puerto Berrio	Antioquia	1	
4	11/05/2006	Yondo	Antioquia	1	
5	22/02/1999	Puerto Berrio	Antioquia	1	

Tabla 4-14. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Berrío (K765).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Tipo de Riesgo	
		Municipio	Departamento	Hidrologico	Hidraulico
1	11/12/2011	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
2	18/04/2011	Puerto Boyaca	Boyaca	1	
3	14/04/2011	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
4	05/12/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
5	06/11/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
6	30/05/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
7	14/04/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
8	26/11/2008	Puerto Boyaca	Boyaca	1	
9	29/05/2008	Puerto Nare	Antioquia	1	
10	25/05/2008	Puerto Triunfo	Antioquia	1	
11	10/11/2007	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
12	22/04/2007	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	
13	07/05/2006	Puerto Boyaca	Boyaca	1	
14	22/02/1999	Puerto Boyaca	Boyaca	1	
15	19/02/1999	Puerto Nare	Antioquia	1	
16	06/05/1998	Puerto Salgar	Cundinamarca	1	

Tabla 4-15. Eventos de inundación asignados a la estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

4.5 ANALISIS DE AMENAZA DE INUNDACION DE CADA EVENTO CONSIDERANDO EL RIESGO HIDROLOGICO Y RIESGO HIDRAULICO

Teniendo asignado cada inundación a la estación hidrológica ubicada aguas arriba del municipio afectado e identificando la causa del evento, se procede a realizar el análisis de amenaza de inundación para cada suceso.

El análisis de amenaza de inundación consta de los siguientes puntos:

- Nivel en la estación para la fecha de la inundación.
- Periodo de retorno de la inundación: El periodo de retorno se determina a partir del análisis de niveles máximos anuales.
- Además el nivel en la estación hidrológica asociado a cada evento de inundación se representa en los siguientes gráficos:
 - Curva de frecuencia de niveles excedido.
 - Curva de periodo de retorno de los niveles máximos anuales.
 - Curva de duración.

A continuación se presenta el análisis de amenaza de inundación en las estaciones hidrológicas seleccionadas.

4.5.1 Estación IDEAM Calamar (K93)

En la estación IDEAM Calamar (K93) se encontraron ocho (8) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-16 y en la Figura 4-13 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 2 y 11 años, muy por debajo del periodo mínimo de diseño (25 años), y que existe probabilidades superior al 80% de que esos niveles sean igualados o superados en una ventana de tiempo de 20 años.

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	05/10/2010	Malambo	Atlántico	8.77	11
2	01/08/2010	Remolino	Magdalena	7.99	3
3	01/08/2010	Sitionuevo	Magdalena	7.99	3
4	02/11/2008	Malambo	Atlántico	8.10	3.4
5	16/11/2007	Calamar	Bolívar	8.42	6
6	16/11/2007	Cerro de San Antonio	Magdalena	8.42	6
7	19/06/2007	Suan	Atlántico	7.82	2.3
8	27/07/1999	Ponedera	Atlántico	7.77	2

Tabla 4-16. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Calamar (K93)

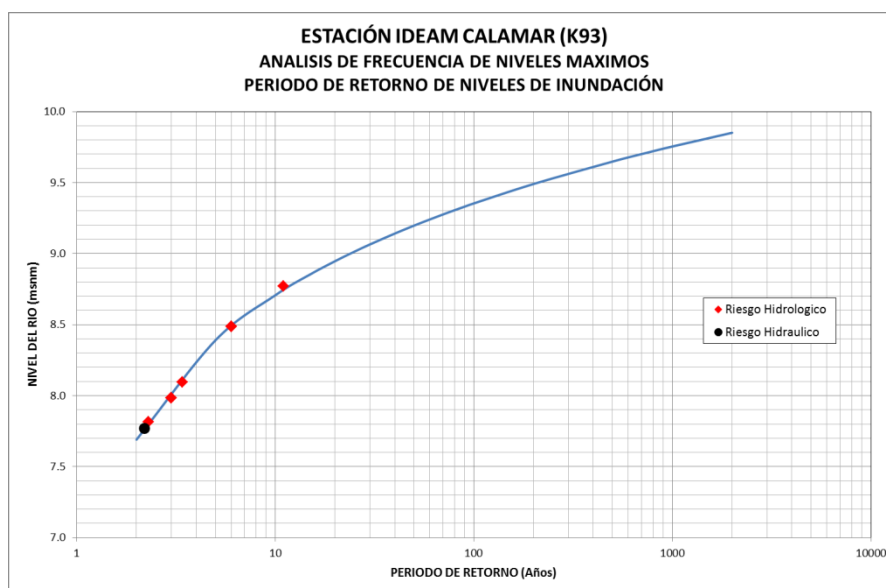


Figura 4-13. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Calamar (K93).

En la Figura 4-14 y Figura 4-15 se observa la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se puede concluir que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%, de los cuales solo 2 corresponden a niveles máximos. Además los niveles de inundación tienen un porcentaje de tiempo excedido menor al 10%, lo cual quiere decir que, en promedio 36 días al año esos niveles son superados.

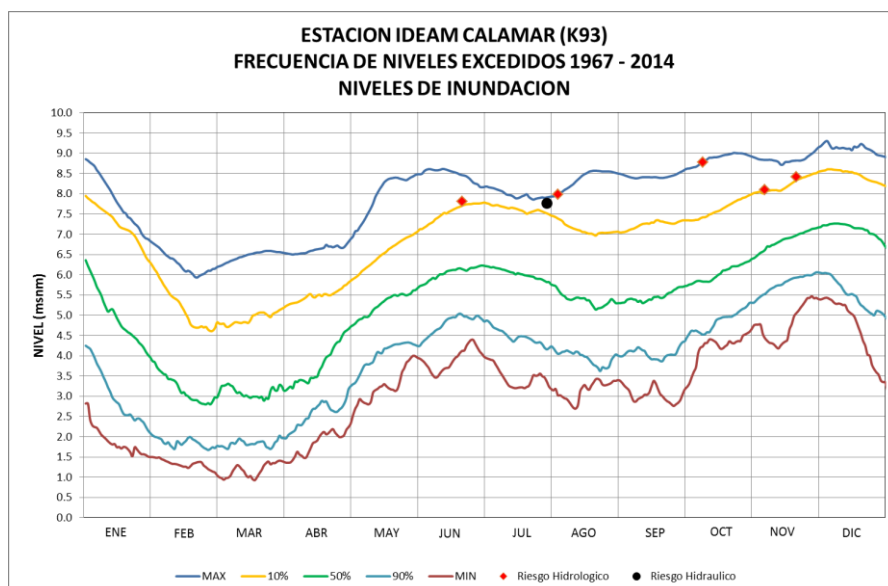


Figura 4-14. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Calamar (K93).

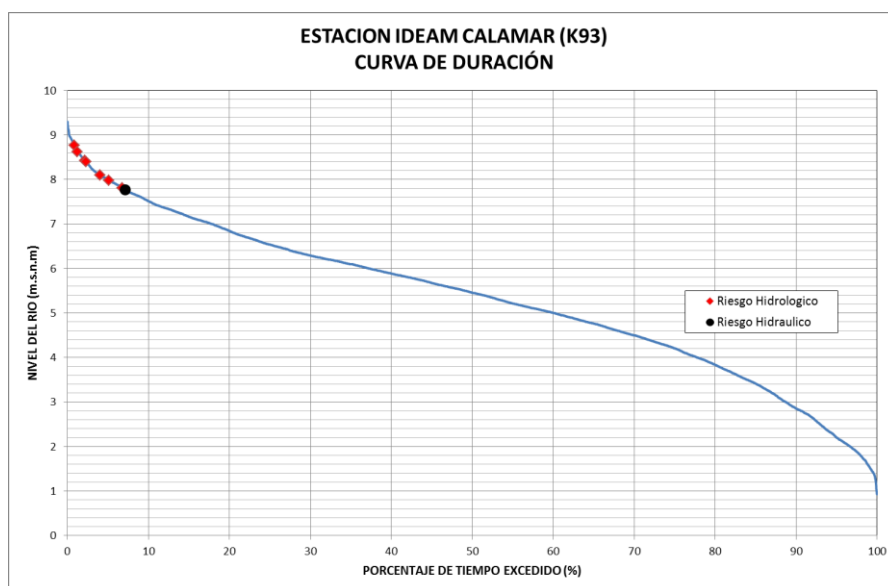


Figura 4-15. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Calamar (K93).

4.5.2 Estación IDEAM Plato (K167)

En la estación IDEAM Plato (K167) se encontraron doce (12) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-17 y Figura 4-16 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 2.1 y 37 años, aunque la mayoría es inferior al periodo mínimo de diseño (25 años).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno del Nivel de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	20/05/2011	Plato	Magdalena	13.27	5
2	20/05/2011	Tenerife	Magdalena	13.27	5
3	23/12/2010	Tenerife	Magdalena	14.89	31
4	03/12/2010	Robles	Bolivar	14.98	37
5	03/12/2010	San Agustín	Bolivar	14.98	37
6	11/10/2010	San Agustín	Bolivar	14.02	10
7	12/08/2010	Plato	Magdalena	13.19	4.7
8	06/08/2010	Plato	Magdalena	12.76	3.5
9	13/12/2008	Plato	Magdalena	14.10	12
10	20/11/2007	Robles	Bolivar	13.61	6.5
11	15/06/2007	Tenerife	Magdalena	12.32	2.7
12	27/11/2003	Plato	Magdalena	11.97	2.1

Tabla 4-17. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Plato (K167).

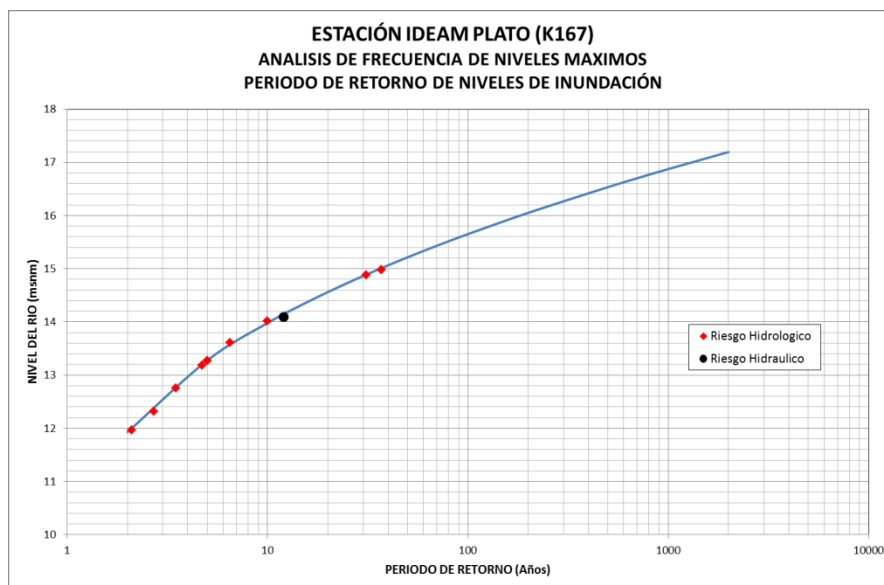


Figura 4-16. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Plato (K167).

En la Figura 4-17 y Figura 4-18 se observa la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se puede concluir que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%, se destaca que la mayoría de estos se encuentran en niveles máximos y que solo un evento está entre el nivel de excedencia del 10% y del 50%. Además los niveles de inundación tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 10%, lo cual quiere decir que, en promedio 36 días al año esos niveles son superados.

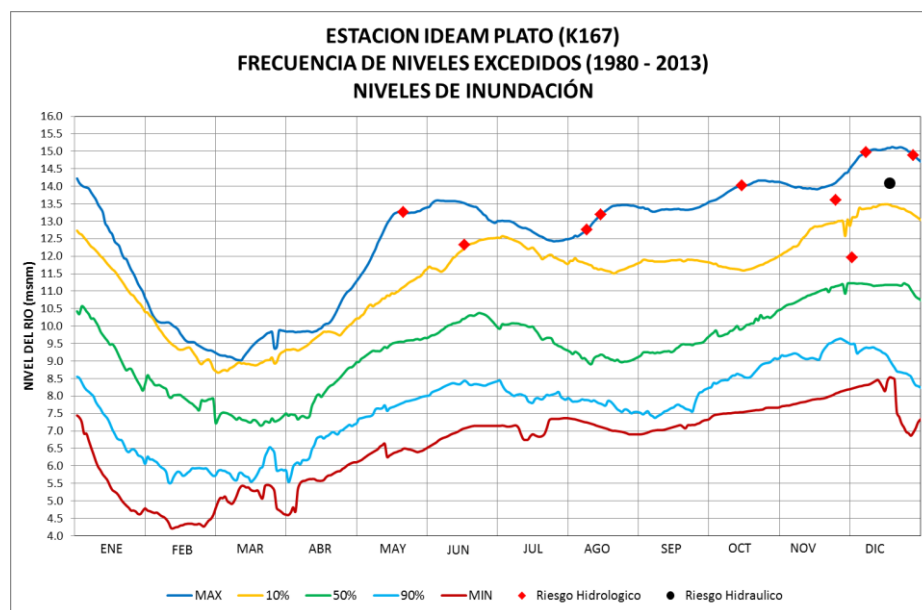


Figura 4-17. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Plato (K167).

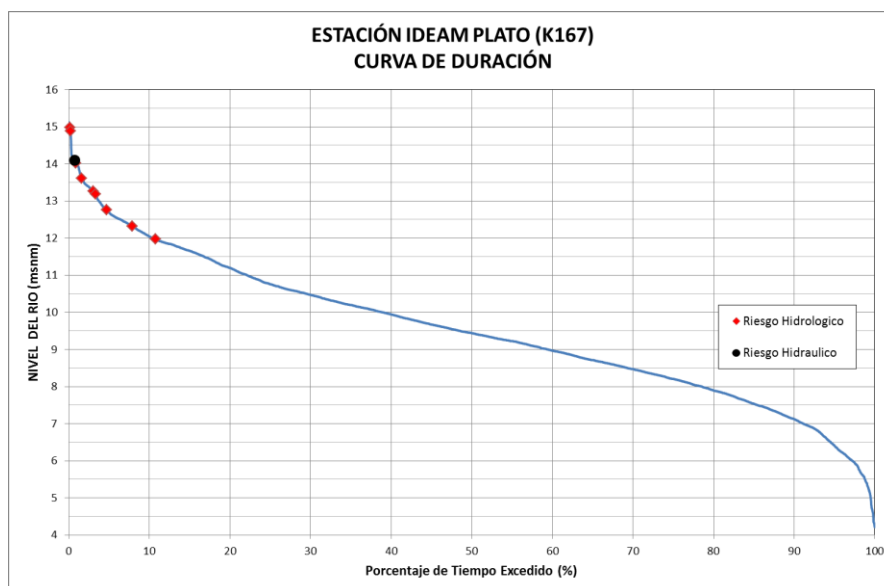


Figura 4-18. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Plato (K167).

4.5.3 Estación IDEAM Magangué (K252)

En la estación IDEAM Magangué (K252) se encontraron nueve (9) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-18 y Figura 4-19 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.3 y 21 años, aunque la mayoría es inferior a un periodo de retorno de 5 años.

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	29/11/2011	Magangué	Bolívar	18.29	2.6
2	04/05/2011	Tacaloa	Bolívar	18.00	1.8
3	03/05/2011	Cordoba	Bolívar	17.91	1.6
4	03/12/2010	Tacamocho	Bolívar	19.11	21
5	09/11/2010	Magangué	Bolívar	18.54	3.6
6	01/08/2010	Magangué	Bolívar	18.08	2
7	26/11/2008	Zambrano	Bolívar	18.45	3.6
8	23/07/2008	Magangué	Bolívar	17.85	1.6
9	24/11/2003	Cordoba	Bolívar	17.49	1.3

Tabla 4-18. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Magangué (K252).

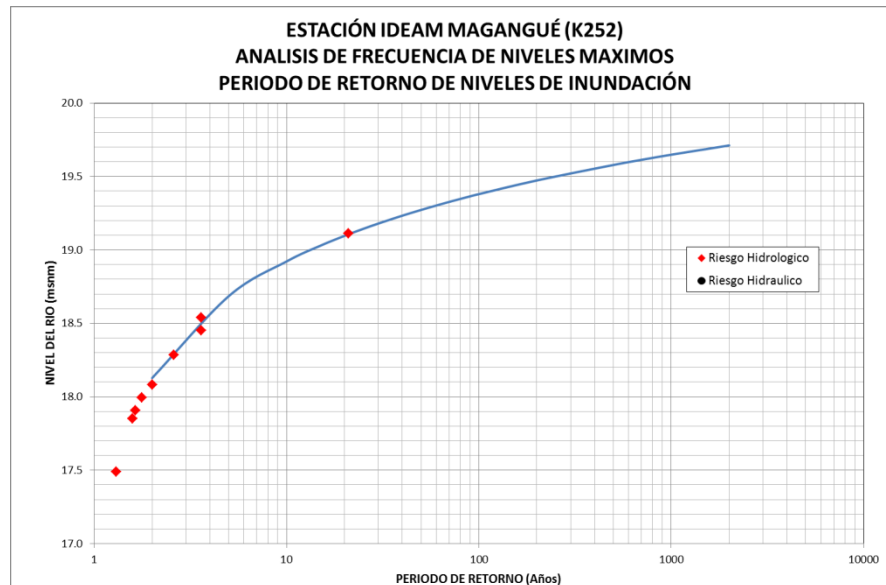


Figura 4-19. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Magangué (K252).

En la Figura 4-20 y Figura 4-21 se observa la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se puede concluir que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%, se destaca que algunos niveles de inundación están entre el nivel de excedencia del 10% y del 50%. Además los niveles de inundación tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 15%, solo uno es cercano al 20%.

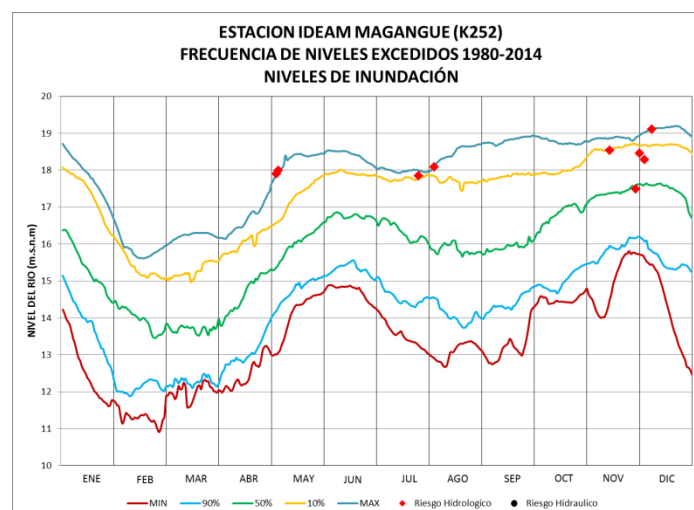


Figura 4-20. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Magangué (K252).

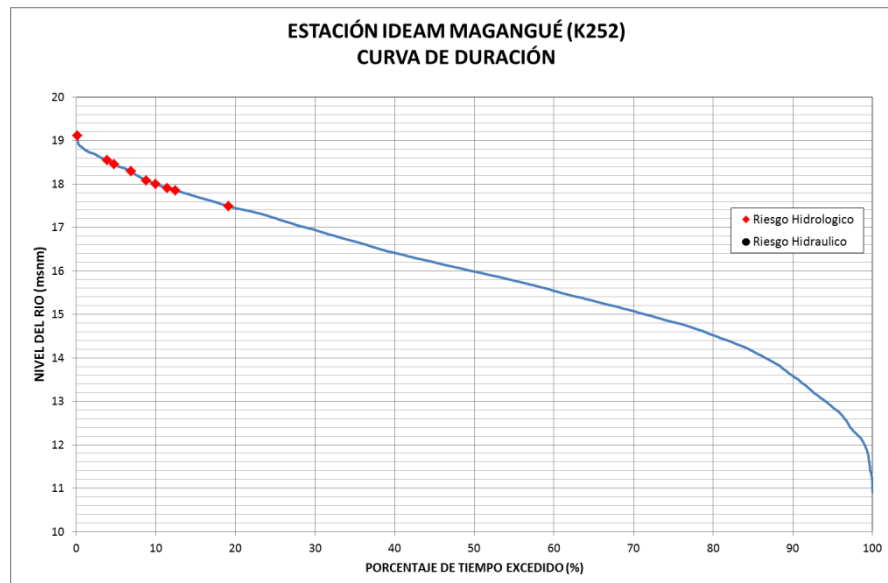


Figura 4-21. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Magangué (K252).

4.5.4 Estación IDEAM El Banco (K400)

En la estación IDEAM El Banco (K400) se encontraron veinte y tres (23) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-19 **Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y en la Figura 4-22 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.1 y 13 años, siendo todos inferiores al periodo de retorno mínimo para diseño de obras de protección contra inundaciones (25 años).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	10/05/2012	El Banco	Magdalena	27.82	1.9
2	26/11/2011	El Banco	Magdalena	28.37	4.1
3	28/04/2011	Hatillo de Loba	Bolivar	28.51	5
4	04/04/2011	Altos del Rosario	Bolivar	26.72	1.1
5	04/04/2011	Hatillo de Loba	Bolivar	26.72	1.1
6	04/04/2011	Pinillos	Bolivar	26.72	1.1
7	01/08/2010	El Banco	Magdalena	28.47	4.8
8	31/07/2010	Altos del Rosario	Bolivar	28.47	4.8
9	25/07/2010	Pinillos	Bolivar	28.35	4
10	13/12/2008	El Banco	Magdalena	28.94	13.0
11	28/11/2008	San Martin de Loba	Bolivar	28.66	6.6
12	28/11/2008	Hatillo de Loba	Bolivar	28.66	6.6
13	12/11/2008	Altos del Rosario	Bolivar	28.38	4.2
14	04/06/2008	Altos del Rosario	Bolivar	27.84	2
15	04/06/2008	Hatillo de Loba	Bolivar	27.84	2
16	04/06/2008	Pinillos	Bolivar	27.84	2
17	03/11/2007	El Banco	Magdalena	28.33	3.8
18	22/11/2006	El Banco	Magdalena	28.04	2.6
19	08/05/2006	Altos del Rosario	Bolivar	27.75	1.8
20	11/11/2004	Hatillo de Loba	Bolivar	28.24	3.3
21	24/11/2003	Barranco de Loba	Bolivar	27.81	1.9
22	12/11/2003	El Banco	Magdalena	27.83	1.9
23	11/05/1998	El Banco	Magdalena	27.00	1.1

Tabla 4-19. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM El Banco (K400).

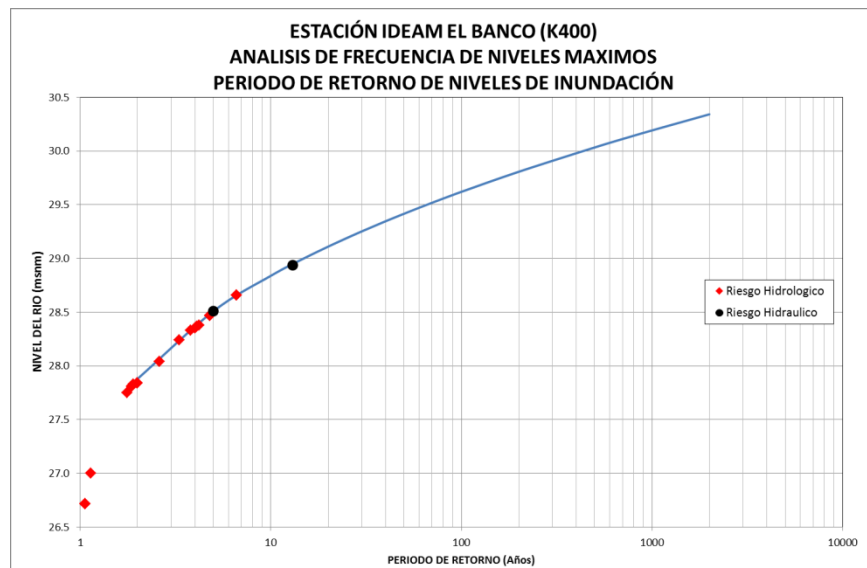


Figura 4-22. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM El Banco (K400).

En la Figura 4-23 y Figura 4-24 se presenta la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 50%, se destaca que la mayoría de los niveles de inundación están entre el nivel de excedencia del 10% y del 50%. Además la mayoría de los niveles de inundación tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 10%, solo dos están entre el 20% y 30%.

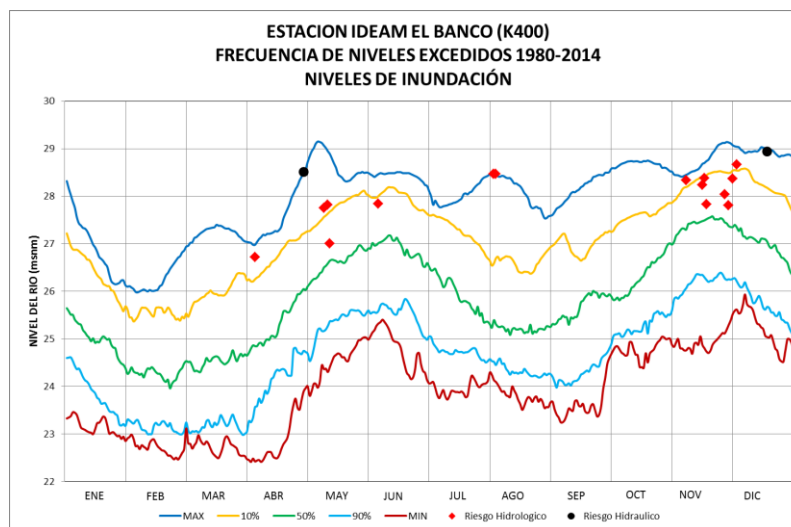


Figura 4-23. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM El Banco (K400).

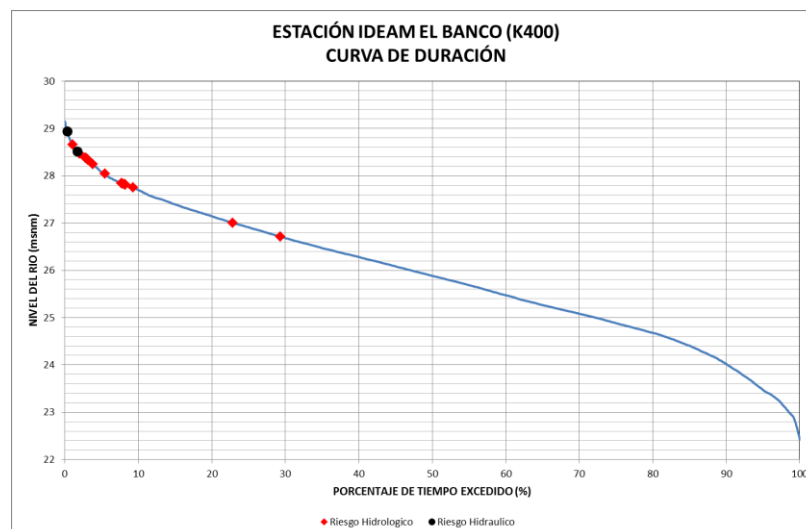


Figura 4-24. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM El Banco (K400).

4.5.5 Estación IDEAM Gamarra (K500)

En la estación IDEAM Gamarra (K500) se encontraron cuarenta y cinco (45) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-20 y en la Figura 4-25 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1 y 10 años, siendo todos inferiores al periodo de retorno mínimo para diseño de obras de protección contra inundaciones (25 años).

En la Figura 4-26 y Figura 4-27 se presenta la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración para la estación IDEAM Gamarra (K500). Se observa que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 50%, se destaca que la mayoría inundaciones ocurridas en el mes de Noviembre presentaron niveles cercanos a la excedencia del 50% y las ocurridas entre Mayo y Junio están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%. Las inundaciones ocurridas por fallas estructurales de la obra de protección presentaron niveles cercanos al 50%. En su mayoría, las inundaciones tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 30%.

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	07/12/2011	Tamalameque	Cesar	39.63	1.65
2	28/04/2011	Regidor	Bolivar	39.97	2.60
3	28/04/2011	El Peñon	Bolivar	39.97	2.60
4	22/04/2011	Tamalameque	Cesar	39.56	1.55
5	22/04/2011	La Gloria	Cesar	39.56	1.55
6	22/04/2011	Gamarra	Cesar	39.56	1.55
7	18/04/2011	Tamalameque	Cesar	38.97	1.12
8	18/04/2011	La Gloria	Cesar	38.97	1.12
9	18/04/2011	Gamarra	Cesar	38.97	1.12
10	04/04/2011	El Peñon	Bolivar	37.48	1
11	04/04/2011	Regidor	Bolivar	37.48	1
12	04/04/2011	Arenal	Bolivar	37.48	1
13	23/11/2010	Gamarra	Cesar	NA	NA
14	20/11/2010	El Peñon	Bolivar	NA	NA
15	18/11/2010	Gamarra	Cesar	NA	NA
16	01/10/2010	Tamalameque	Cesar	NA	NA
17	22/07/2010	La Gloria	Cesar	NA	NA
18	20/07/2010	Tamalameque	Cesar	NA	NA
19	28/11/2008	El Peñon	Bolivar	NA	NA
20	28/11/2008	Regidor	Bolivar	NA	NA
21	02/11/2008	La Gloria	Cesar	38.59	1.04
22	04/06/2008	Regidor	Bolivar	NA	NA
23	04/06/2008	Tamalameque	Cesar	NA	NA
24	04/06/2008	La Gloria	Cesar	NA	NA
25	04/06/2008	Gamarra	Cesar	NA	NA
26	06/11/2007	Gamarra	Cesar	NA	NA
27	10/05/2007	Gamarra	Cesar	40.30	4.30
28	07/05/2006	La Gloria	Cesar	40.23	4
29	08/11/2005	La Gloria	Cesar	39.22	1.24
30	01/11/2005	Gamarra	Cesar	39.14	1.19
31	31/05/2005	Gamarra	Cesar	40.05	2.90
32	19/05/2005	Tamalameque	Cesar	40.08	3
33	07/11/2004	Arenal	Bolivar	40.69	10
34	26/05/2004	Gamarra	Cesar	39.97	2.60
35	20/05/2004	Tamalameque	Cesar	39.38	1.36
36	03/11/2003	Tamalameque	Cesar	40.05	2.90
37	22/05/2000	Tamalameque	Cesar	39.69	1.75
38	06/05/1999	Tamalameque	Cesar	39.83	2.10
39	06/05/1999	La Gloria	Cesar	39.83	2.10
40	06/05/1999	Gamarra	Cesar	39.83	2.10
41	23/02/1999	Arenal	Bolivar	39.28	1.28
42	09/07/1998	Regidor	Bolivar	38.58	1.04
43	12/06/1998	Arenal	Bolivar	38.99	1.13
44	07/05/1998	Tamalameque	Cesar	39.69	1.75
45	04/05/1998	El Peñon	Bolivar	39.49	1.47

Tabla 4-20. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Gamarra (K500).

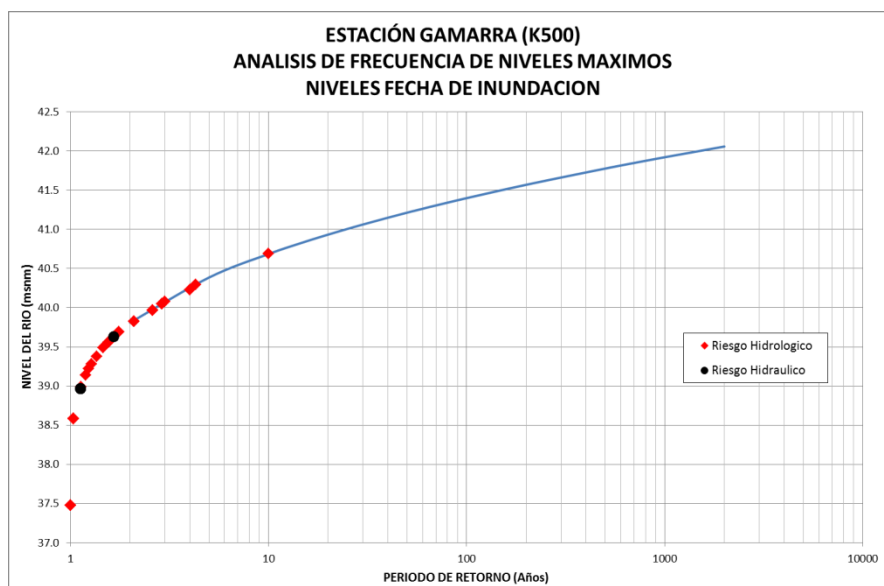


Figura 4-25. Período de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Gamarra (K500).

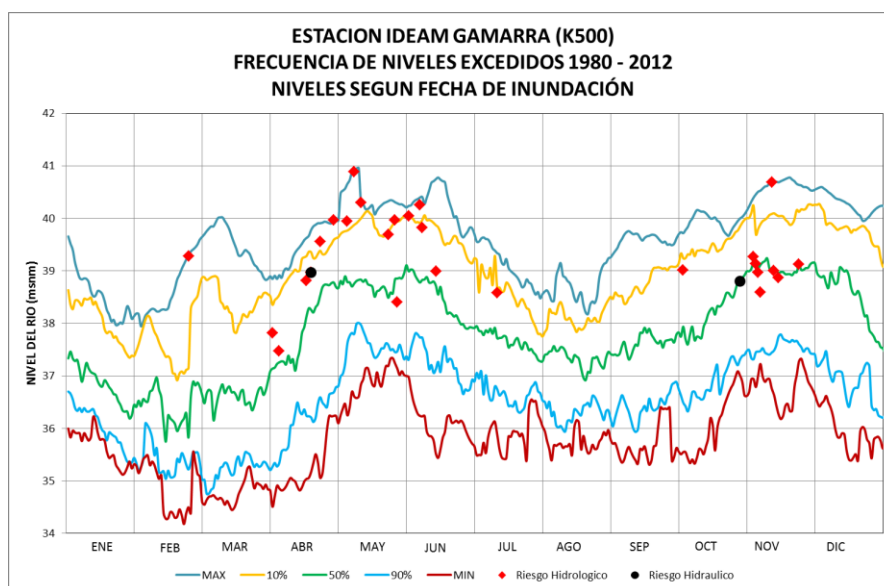


Figura 4-26. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Gamarra (K500).

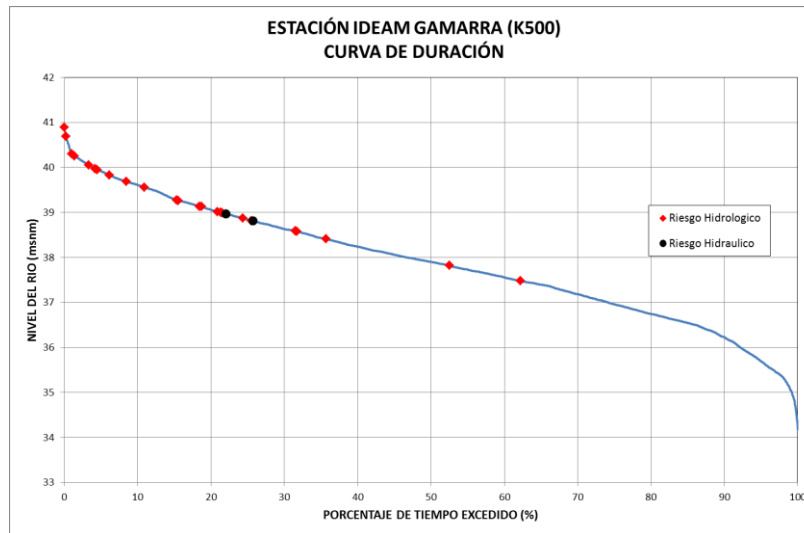


Figura 4-27. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Gamarra (K500).

4.5.6 Estación IDEAM Puerto Wilches (K638)

En la estación IDEAM Puerto Wilches (K638) se encontraron treinta y uno (31) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-21 y en la Figura 4-28 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.1 y 40 años, de los cuales veinte y cuatro (24) eventos tienen periodos de retorno inferior a veinte (20) años.

En la Figura 4-29 y Figura 4-30 se expone la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración para la estación IDEAM Puerto Wilches (K638). Se observa que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%, siendo la mayoría cercano al nivel máximo diario multianual. La inundación ocurrida por falla estructural de la obra de protección está en niveles máximos. En su mayoría, las inundaciones tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 10%.

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Período de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	19/11/2011	Puerto Wilches	Santander	65.91	12
2	28/04/2011	Cantagallo	Bolívar	66.20	30
3	28/04/2011	San Pablo	Bolívar	66.20	30
4	22/04/2011	Loma de Corredor	Cesar	66.26	40
5	18/04/2011	Cantagallo	Bolívar	66.22	33
6	16/04/2011	Puerto Wilches	Santander	66.12	22
7	04/04/2011	San Pablo	Bolívar	64.61	1.10
8	04/04/2011	Simiti	Bolívar	64.61	1.10
9	01/04/2011	Morales	Bolívar	64.82	1.21
10	10/11/2010	Morales	Bolívar	66.09	17.8
11	10/11/2010	San Pablo	Bolívar	66.09	17.8
12	29/09/2010	Puerto Wilches	Santander	65.69	5.8
13	28/07/2010	Morales	Bolívar	64.71	1.14
14	19/07/2010	Puerto Wilches	Santander	65.78	7.5
15	27/11/2008	San Pablo	Bolívar	66.03	17
16	04/06/2008	Morales	Bolívar	65.75	7
17	04/06/2008	San Pablo	Bolívar	65.75	7
18	04/06/2008	Simiti	Bolívar	65.75	7
19	26/05/2008	Puerto Wilches	Santander	65.76	7.1
20	07/11/2007	Simiti	Bolívar	65.43	3
21	01/11/2007	Puerto Wilches	Santander	65.59	4.1
22	24/10/2007	Puerto Wilches	Santander	65.38	2.6
23	04/05/2007	Simiti	Bolívar	65.46	3.3
24	08/11/2005	Loma de Corredor	Cesar	64.75	1.16
25	01/11/2005	Cantagallo	Bolívar	NA	NA
26	30/10/2005	Puerto Wilches	Santander	NA	NA
27	05/06/2000	Cantagallo	Bolívar	65.11	1.60
28	05/06/2000	San Pablo	Bolívar	65.11	1.60
29	05/06/2000	Simiti	Bolívar	65.11	1.60
30	22/05/2000	Loma de Corredor	Cesar	65.32	2.3
31	23/02/1999	Puerto Wilches	Santander	65.28	2

Tabla 4-21. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

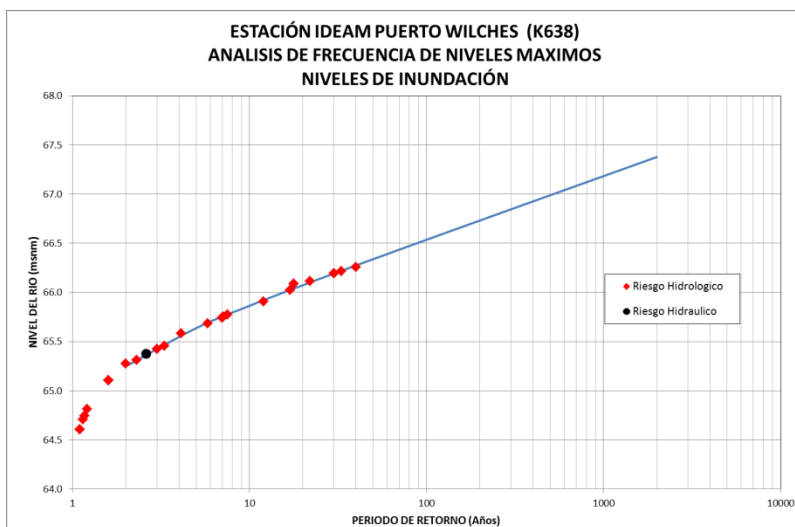


Figura 4-28. Período de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

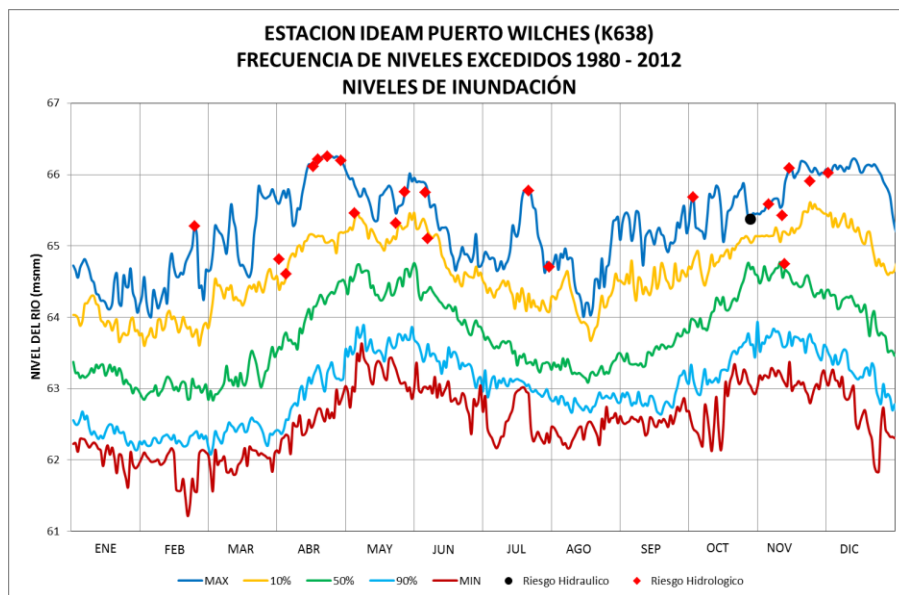


Figura 4-29. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

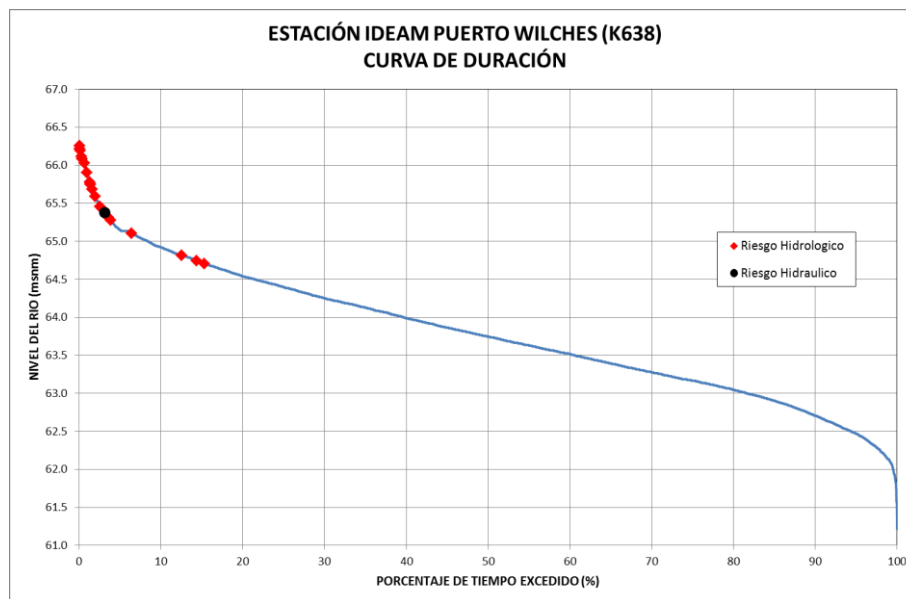


Figura 4-30. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

4.5.7 Estación IDEAM Barrancabermeja (K660)

En la estación IDEAM Barrancabermeja (K660) se encontraron ocho (8) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-22 y en la Figura 4-31 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.14 y 9 años, todas las inundaciones presentan periodos de retorno inferiores a la de diseño (25 años).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	17/12/2011	Barrancabermeja	Santander	75.50	9
2	16/04/2011	Barrancabermeja	Santander	75.49	8.50
3	09/11/2010	Barrancabermeja	Santander	75.36	5
4	19/07/2010	Barrancabermeja	Santander	75.17	2.80
5	22/03/2009	Barrancabermeja	Santander	74.85	1.39
6	09/11/2004	Barrancabermeja	Santander	74.91	1.51
7	22/02/1999	Barrancabermeja	Santander	74.87	1.43
8	11/05/1996	Barrancabermeja	Santander	74.64	1.14

Tabla 4-22. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Barrancabermeja (K660).

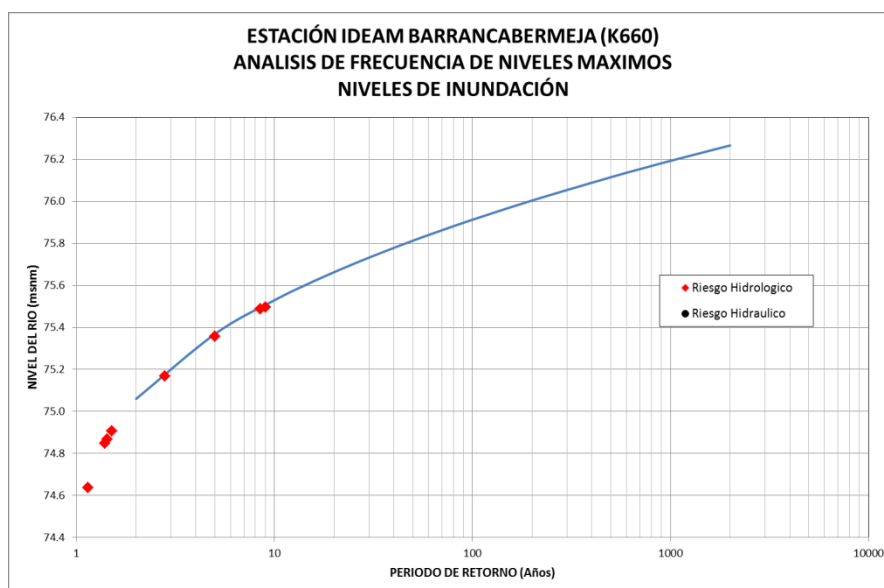


Figura 4-31. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Barrancabermeja (K660).

En la Figura 4-32 y Figura 4-33 se observa la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se puede concluir que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 10%, siendo la mayoría cercano al nivel máximo diario multianual. En su mayoría, las inundaciones tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 10%.

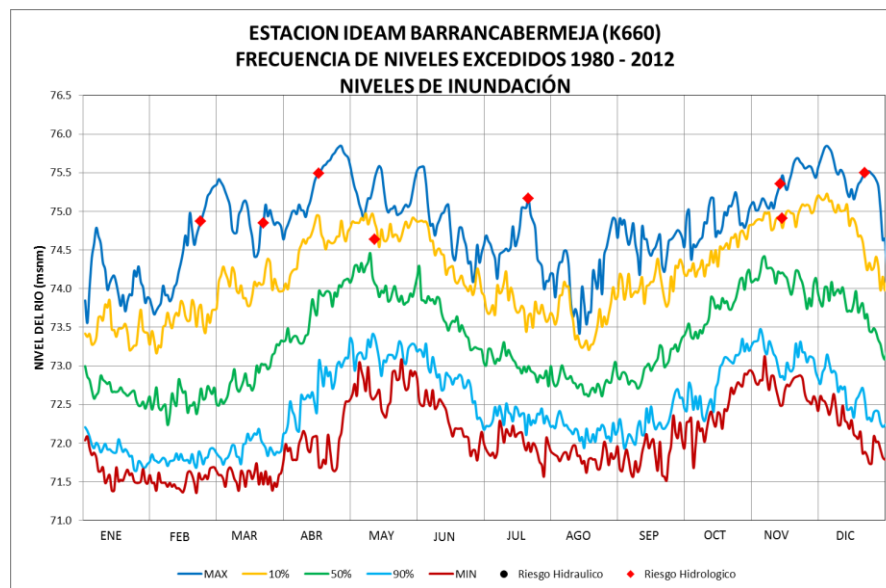


Figura 4-32. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Barrancabermeja (K660).

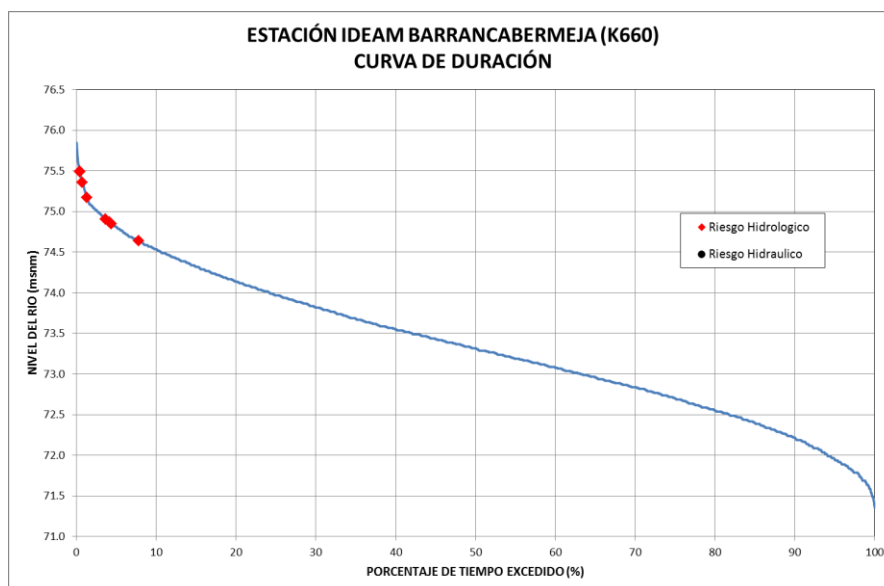


Figura 4-33. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Barrancabermeja (K660).

4.5.8 Estación IDEAM Puerto Berrío (K765)

En la estación IDEAM Puerto Berrío (K765) se encontraron cinco (5) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-23 y en la Figura 4-34 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.02 y 1.92 años, los periodos de retorno de las inundaciones son muy inferiores (menores a 2 años).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	09/11/2010	Yondo	Antioquia	109.75	1.53
2	20/11/2008	Yondo	Antioquia	109.55	1.22
3	04/11/2007	Puerto Berrío	Antioquia	109.08	1.02
4	11/05/2006	Yondo	Antioquia	109.80	1.66
5	22/02/1999	Puerto Berrío	Antioquia	109.88	1.92

Tabla 4-23. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Berrío (K765).

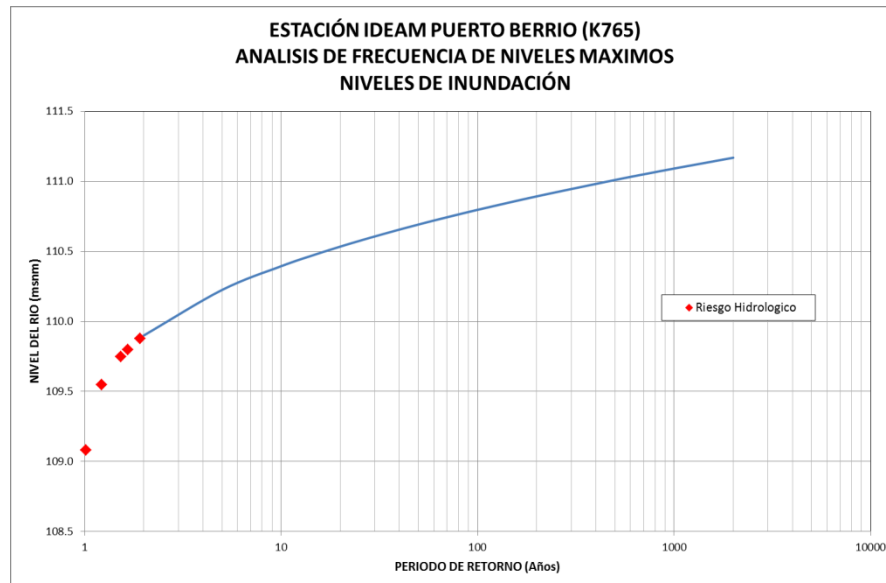


Figura 4-34. Período de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Berrio (K765).

En la Figura 4-35 y Figura 4-36 se observa la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se puede inferir que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 50%. En su mayoría, las inundaciones tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 10%.

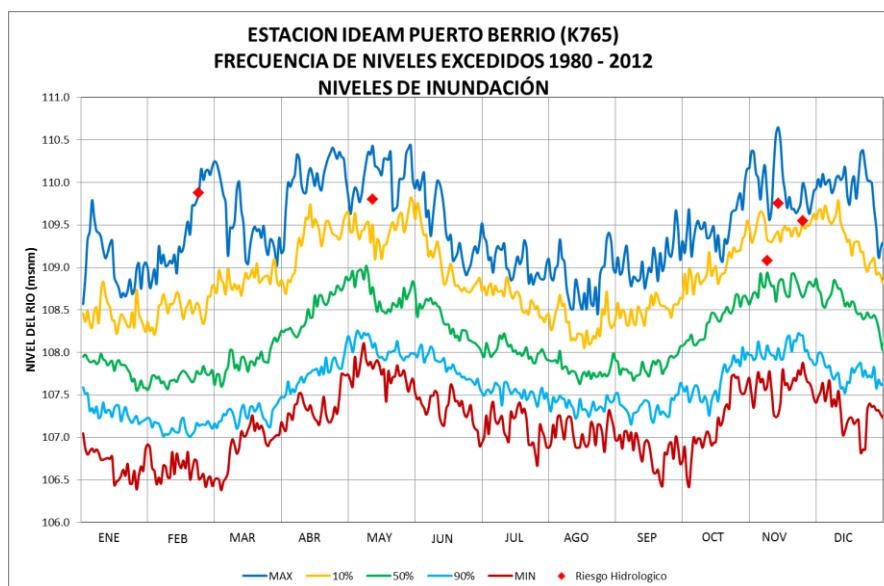


Figura 4-35. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Berrío (K765).

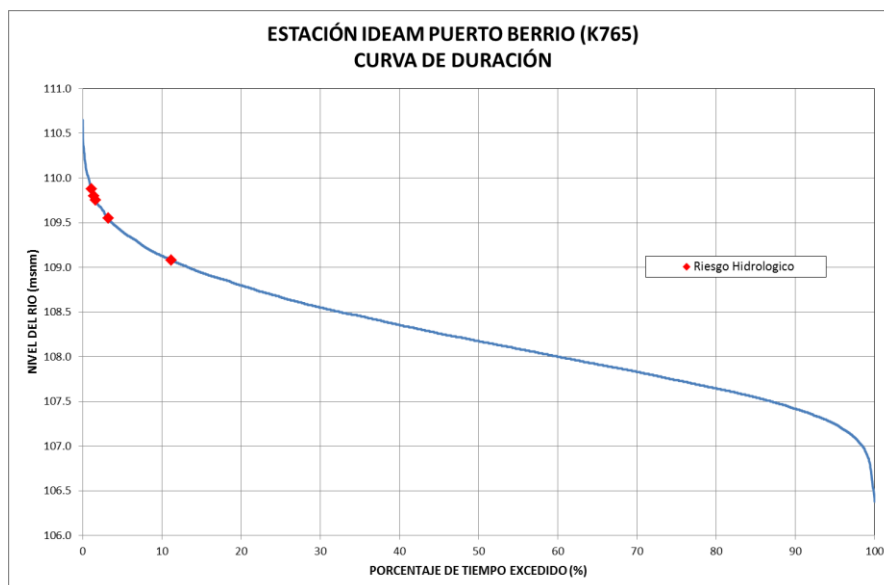


Figura 4-36. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Berrío (K765).

4.5.9 Estación IDEAM Puerto Salgar (K940)

En la estación IDEAM Puerto Salgar (K940) se encontraron dieciséis (16) eventos de inundación asociados a esta estación. Se observa en la Tabla 4-24 y en la Figura 4-37 que los niveles de las inundaciones tienen periodos de retorno entre 1.03 y 21 años, solo dos eventos tienen periodos de retorno mayores a 10 años (12 y 21 años).

Id	Fecha de Inundación	Localización de la Inundación		Nivel en la estación para la fecha de inundación (msnm)	Periodo de Retorno de la Inundación (Años)
		Municipio	Departamento		
1	11/12/2011	Puerto Salgar	Cundinamarca	171.79	12
2	18/04/2011	Puerto Boyaca	Boyaca	171.63	7.3
3	14/04/2011	Puerto Salgar	Cundinamarca	171.65	7.9
4	05/12/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	171.50	5.4
5	06/11/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	170.48	1.2
6	30/05/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	169.83	1
7	14/04/2010	Puerto Salgar	Cundinamarca	170.31	1.1
8	26/11/2008	Puerto Boyaca	Boyaca	171.61	7
9	29/05/2008	Puerto Nare	Antioquia	172.01	21
10	25/05/2008	Puerto Triunfo	Antioquia	171.62	7.1
11	10/11/2007	Puerto Salgar	Cundinamarca	171.14	2.7
12	22/04/2007	Puerto Salgar	Cundinamarca	171.20	2.9
13	07/05/2006	Puerto Boyaca	Boyaca	170.82	1.6
14	22/02/1999	Puerto Boyaca	Boyaca	171.00	2
15	19/02/1999	Puerto Nare	Antioquia	170.37	1.2
16	06/05/1998	Puerto Salgar	Cundinamarca	170.11	1.1

Tabla 4-24. Análisis de Amenaza de Inundación estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

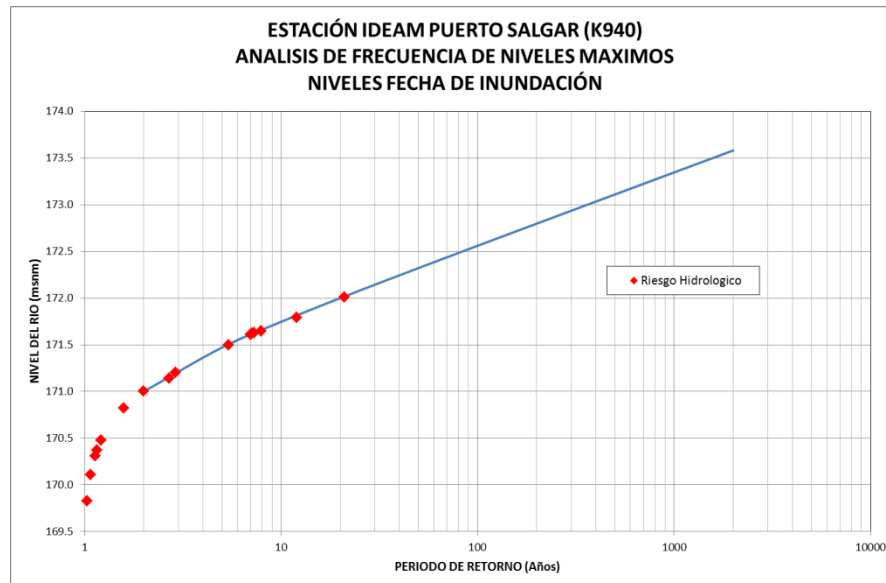


Figura 4-37. Periodo de retorno de niveles máximos anuales y de niveles de inundación para estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

En la Figura 4-38 y Figura 4-39 se expone la frecuencia de niveles de excedidos y la curva de duración. Se infiere que los niveles a los cuales ocurrieron las inundaciones están entre el nivel máximo y el nivel de excedencia del 50%, la mayoría presentaron niveles cercanos al máximo. Las inundaciones tienen un porcentaje de tiempo excedido menor o igual al 15%.

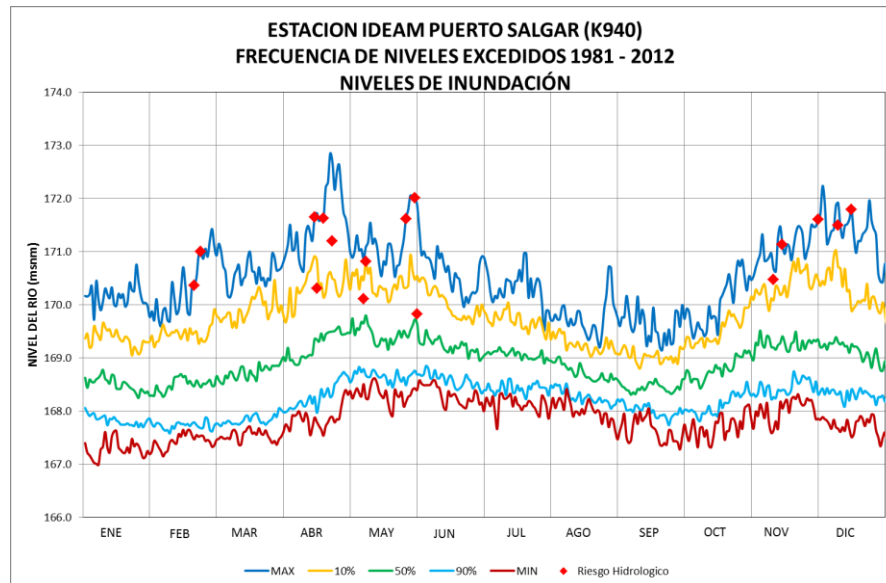


Figura 4-38. Curva de Frecuencia de Niveles Excedidos estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

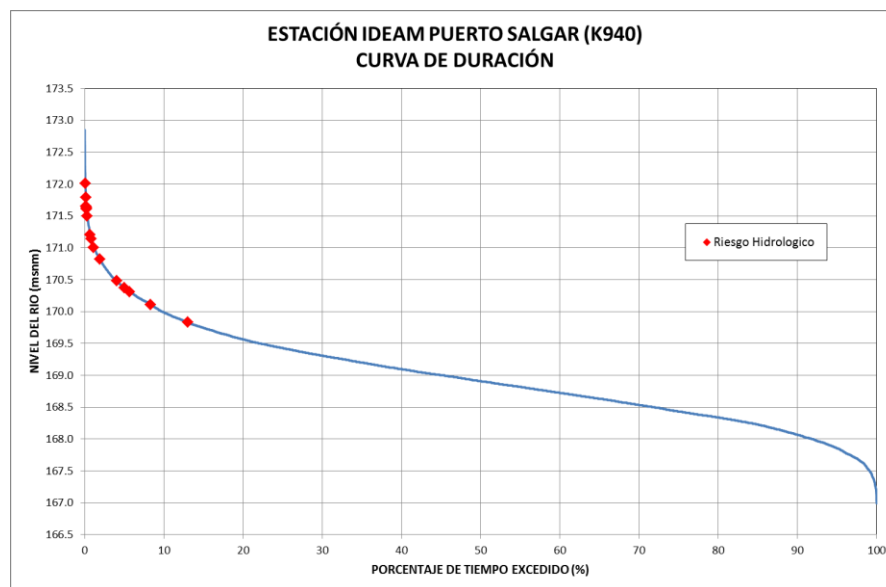


Figura 4-39. Curva de Duración de Niveles estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

4.6 ESTIMACIÓN DE NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PARA CADA MUNICIPIO IDENTIFICADO

Para la estimación de los niveles de alerta de cada municipio se realizó un ajuste probabilístico de los niveles en la estación aguas arriba de la población correspondientes a la fecha de inundación. En aquellos municipios que cuentan con solo un registro de inundación se estimaron los niveles de alerta a partir del análisis de máximos anuales de la estación aguas arriba.

Adicionalmente, se analizó el grado de vulnerabilidad del sistema de control de inundación del río Magdalena a partir del cálculo de periodo de retorno de las cotas de inundación y niveles de alerta definidos por el IDEAM en sus estaciones hidrológicas.

4.6.1 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Calamar (K93)

A la estación IDEAM Calamar (K93) fueron asignados los eventos de inundación de los municipios Remolino (Magdalena), Sitionuevo (Magdalena), Cerro de San Antonio (Magdalena), Suán (Atlántico), Malambo (Atlántico) y Ponedera (Atlántico). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.1.1 Remolino (Magdalena)

El municipio de Remolino (Magdalena) solo tiene asociado un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
01/08/2010	1		3	7.99	7.92	7.87
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)				7.90		
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)				7.45		
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)				6.85		

Tabla 4-25. Niveles de Alerta para Remolino (Magdalena).

4.6.1.2 Sitionuevo (Magdalena)

El municipio de Sitionuevo (Magdalena) solo tiene asociado un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
01/08/2010	1		3	7.99	7.92	7.87

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	7.90
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	7.45
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	6.85

Tabla 4-26. Niveles de Alerta para Sitionuevo (Magdalena).

4.6.1.3 Cerro de San Antonio (Magdalena)

El municipio de Cerro de San Antonio (Magdalena) solo tiene asociado un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
16/11/2007	1		6	8.42	8.37	8.31

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	8.15
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	7.70
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	7.20

Tabla 4-27. Niveles de Alerta para Cerro de San Antonio (Magdalena).

4.6.1.4 Suán (Atlántico)

El municipio de Suán (Atlántico) solo tiene asociado un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
19/06/2007	1		2.3	7.82	7.79	7.73

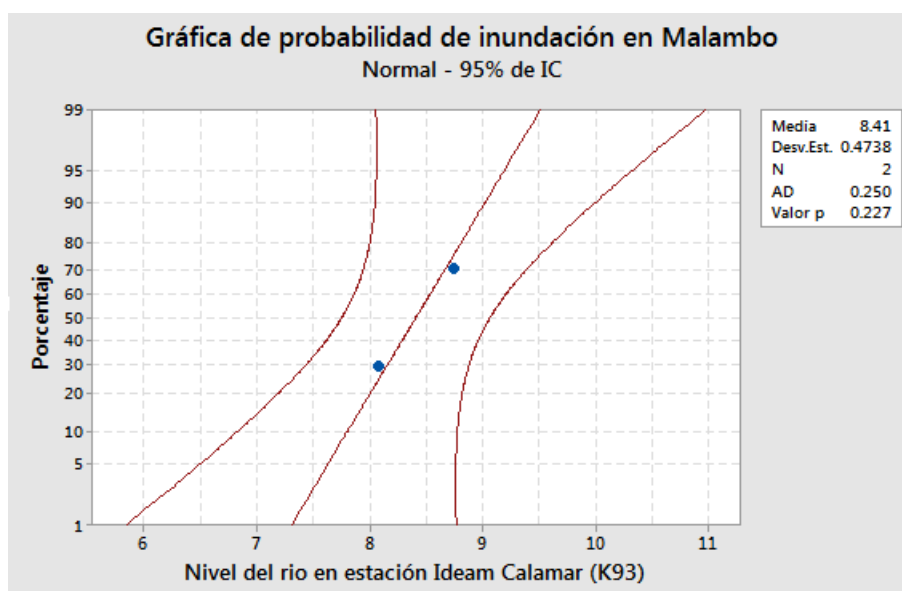
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	7.70
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	7.20
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	6.85

Tabla 4-28. Niveles de Alerta para Suán (Atlántico).

4.6.1.5 Malambo (Atlántico)

El municipio de Malambo (Atlántico) tiene asociado dos eventos de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
05/10/2010	1		11	8.77	8.75	8.70
02/11/2008	1		3.4	8.10	8.08	8.06



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	8.40
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	8.10
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	7.80

Tabla 4-29. Niveles de Alerta para Malambo (Atlántico).

4.6.1.6 Ponedera (Atlántico)

El municipio de Ponedera (Atlántico) solo tiene asociado un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		CALAMAR	CALAMAR - 1día	CALAMAR - 2día
27/07/1999		1	2	7.77	7.82	7.82

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	7.70
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	7.20
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	6.85

Tabla 4-30. Niveles de Alerta para Ponedera (Atlántico).

4.6.1.7 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Calamar (K93) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con la cota de inundación de la estación IDEAM Calamar (K93) definido por ésta entidad. Ver Tabla 4-31.

	COTA DE INUNDACIÓN IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)					
	Calamar	Remolino	Sitionuevo	Cerro de San Antonio	Suan	Malambo	Ponedera
NIVEL DE ALERTA ROJA	9.85	7.91	7.91	8.14	7.69	8.41	7.69
NIVEL DE ALERTA NARANJA		7.45	7.45	7.69	7.18	8.16	7.18
NIVEL DE ALERTA AMARILLA		6.84	6.84	7.18	6.84	7.80	6.84

Tabla 4-31. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Calamar (K93).

Se observa que los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios ubicados aguas debajo de la IDEAM Calamar (K93) están muy por debajo de la cota de inundación de ese municipio.

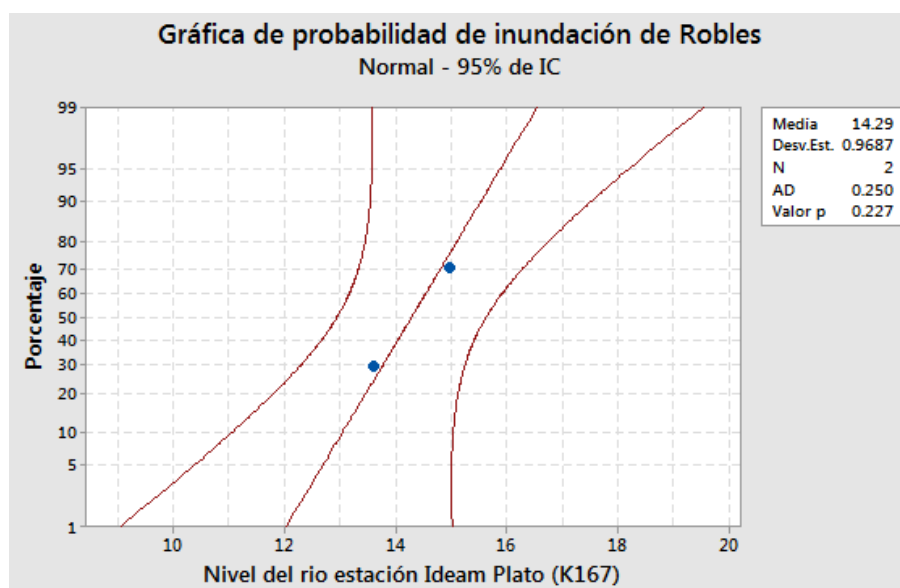
4.6.2 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Plato (K167)

A la estación IDEAM Plato (K167) fueron asignados los eventos de inundación de los municipios Robles (Bolívar), San Agustín (Bolívar) y Tenerife (Magdalena). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.2.1 Robles (Bolívar)

El municipio de Robles (Bolívar) tiene asociado dos eventos de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PLATO	PLATO - 1día	PLATO - 2día
03/12/2010	1		37	14.98	14.95	14.90
20/11/2007	1		6.5	13.61	13.55	13.50



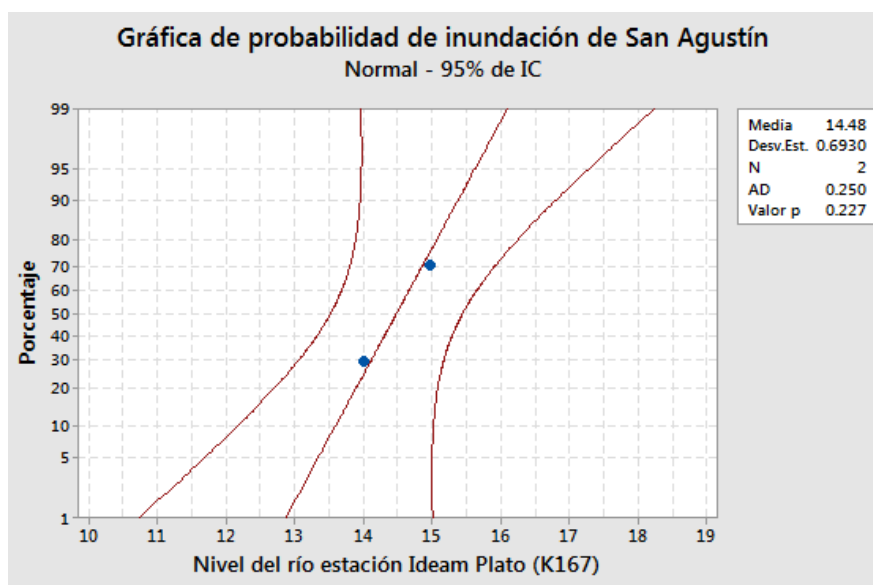
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	13.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	13.50
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	13.10

Tabla 4-32. Niveles de Alerta para Robles (Bolívar).

4.6.2.2 San Agustín (Bolívar)

El municipio de San Agustín (Bolívar) tiene asociado dos eventos de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PLATO	PLATO - 1día	PLATO - 2día
03/12/2010	1		37	14.98	14.95	14.90
11/10/2010	1		10	14.00	13.99	13.96



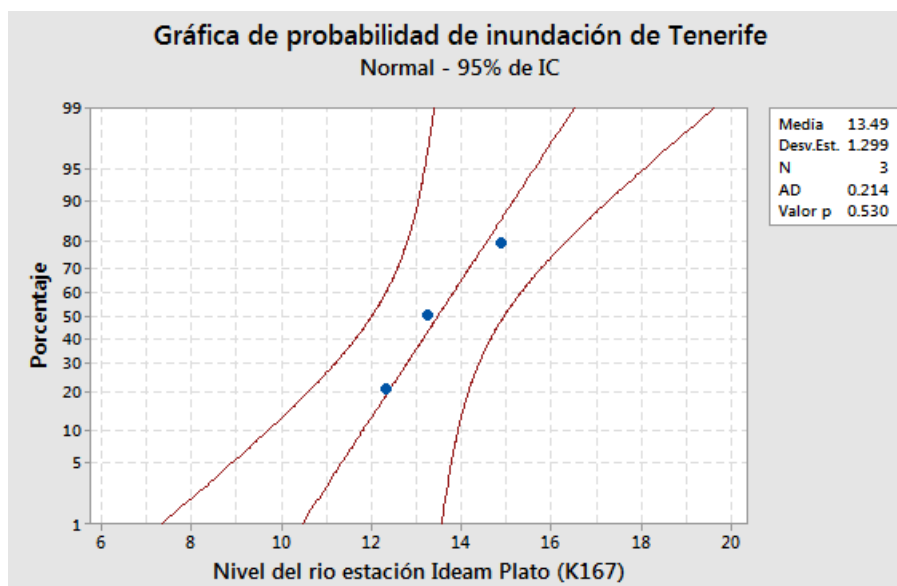
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	14.00
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	13.70
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	13.20

Tabla 4-33. Niveles de Alerta para San Agustín (Bolívar).

4.6.2.3 Tenerife (Magdalena)

El municipio de Tenerife (Magdalena) tiene asociado dos eventos de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PLATO	PLATO - 1día	PLATO - 2día
20/05/2011	1		5	13.27	13.28	13.28
23/12/2010	1		31	14.89	14.99	15.00
15/06/2007	1		2.7	12.32	12.24	12.19



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	13.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	12.90
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	12.50

Tabla 4-34. Niveles de Alerta para Tenerife (Magdalena).

4.6.2.4 Comparativo entre Niveles de Alerta en Estación IDEAM Plato (K167) y Niveles de Alerta Propuestos Para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con los niveles de alerta de inundación definidos por el IDEAM para la estación Plato (K167). Ver Tabla 4-35.

	NIVELES DE ALERTA IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)		
	Plato	Robles	San Agustín	Tenerife
NIVEL DE ALERTA ROJA	13.65	13.80	14.00	13.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA	13.05	13.50	13.70	12.90
NIVEL DE ALERTA AMARILLA	12.25	13.10	13.20	12.50

Tabla 4-35. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Plato (K167).

Se observa que los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios Robles y San Agustín están por encima de los definidos para la estación IDEAM Plato (K167), mientras que los de Tenerife están por debajo de éste.

4.6.3 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Magangué (K252)

A la estación IDEAM Magangué (K252) fueron asignados los eventos de inundación de los municipios Cordoba (Bolívar), Tacaloa (Bolívar), Zambrano (Bolívar) y Tacamocho (Bolívar). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.3.1 Córdoba (Bolívar)

El municipio de Cordoba (Bolívar) tiene asociado dos eventos de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		MAGANGUÉ	MAGANGUÉ - 1día	MAGANGUÉ - 2día
03/05/2011	1		1.64	17.91	17.82	17.72
24/11/2003	1		1.30	17.49	17.47	17.45

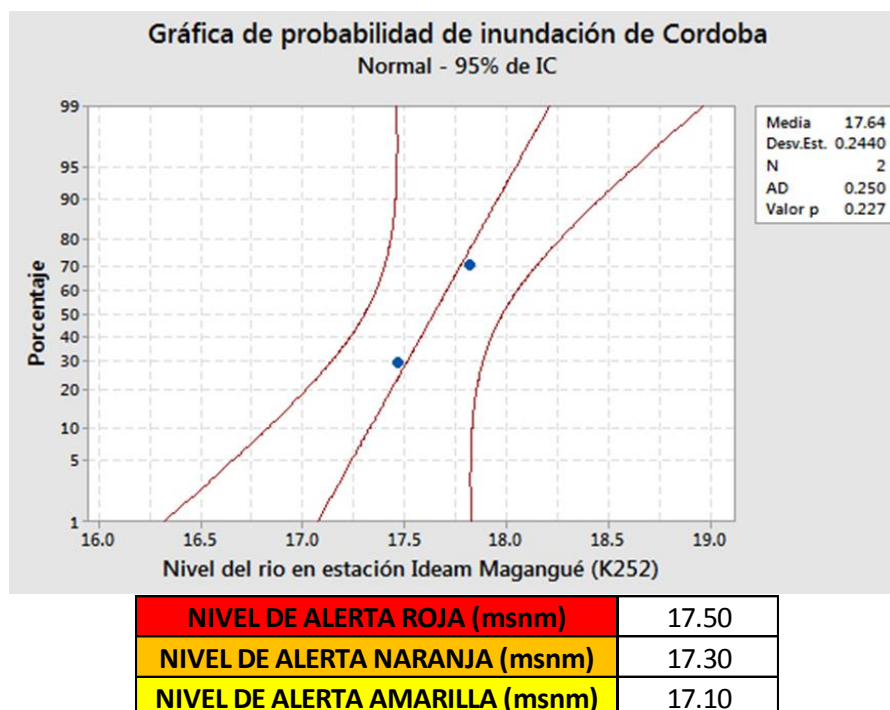


Tabla 4-36. Niveles de Alerta para Cordoba (Bolívar).

4.6.3.2 Tacaloa (Bolívar)

El municipio de Tacaloa (Bolívar) tiene asociado solo un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		MAGANGUÉ	MAGANGUÉ - 1día	MAGANGUÉ - 2día
04/05/2011	1		1.76	18.00	17.91	17.82

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	17.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	17.40
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	16.80

Tabla 4-37. Niveles de Alerta para Tacaloa (Bolívar).

4.6.3.3 Zambrano (Bolívar)

El municipio de Zambrano (Bolívar) tiene asociado solo un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		MAGANGUÉ	MAGANGUÉ - 1día	MAGANGUÉ - 2día
26/11/2008	1		3.60	18.45	18.43	18.41

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	18.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	18.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	17.60

Tabla 4-38. Niveles de Alerta para Zambrano (Bolívar).

4.6.3.4 Tacamocho (Bolívar)

El municipio de Tacamocho (Bolívar) tiene asociado solo un evento de inundación, los niveles de alerta de inundación son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		MAGANGUÉ	MAGANGUÉ - 1día	MAGANGUÉ - 2día
03/12/2010	1		21	19.11	19.08	19.07

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	18.90
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	18.60
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	18.20

Tabla 4-39. Niveles de Alerta para Tacamocho (Bolívar).

4.6.3.5 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Magangué (K252) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con la cota de inundación definida por el IDEAM para la estación Magangué (K252). Ver Tabla 4-40.

	COTA DE INUNDACIÓN IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)			
	Magangué	Cordoba	Tacaloa	Zambrano	Tacamocho
NIVEL DE ALERTA ROJA	17.72	17.50	17.80	18.30	18.90
NIVEL DE ALERTA NARANJA		17.30	17.40	18.00	18.60
NIVEL DE ALERTA AMARILLA		17.10	16.80	17.60	18.20

Tabla 4-40. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Magangué (K252).

Se observa que los niveles de alerta roja de los municipios Tacaloa, Zambrano y Tacamocho están por encima de la cota de inundación de la estación IDEAM Magangué (K252), mientras que el nivel de alerta roja del municipio Cordoba está por debajo.

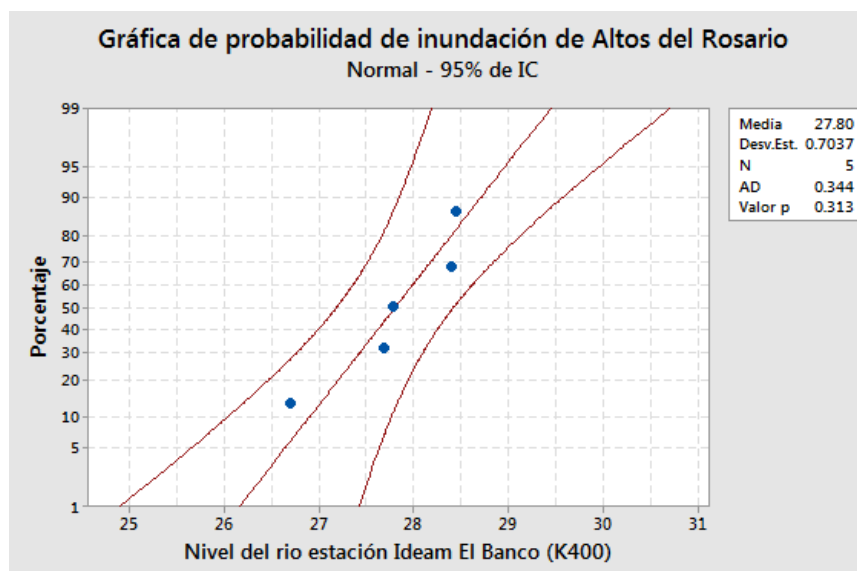
4.6.4 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM El Banco (K400)

A la estación IDEAM El Banco (K400) fueron asignados los eventos de inundación de los municipios Altos del Rosario (Bolívar), Barranco de Loba (Bolívar), Hatillo de Loba (Bolívar), Pinillos (Bolívar) y San Martín de Loba (Bolívar). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.4.1 Altos del Rosario (Bolívar)

El municipio de Altos del Rosario (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		EL BANCO	EL BANCO - 1día	EL BANCO - 2día
04/04/2011	1		1.1	26.72	26.71	26.74
31/07/2010	1		4.8	28.47	28.44	28.46
12/11/2008	1		4.2	28.38	28.40	28.40
04/06/2008	1		2.0	27.84	27.79	27.73
08/05/2006	1		1.8	27.75	27.69	27.64



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	27.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	27.40
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	27.00

Tabla 4-41. Niveles de Alerta para Altos del Rosario (Bolívar).

4.6.4.2 Barranco De Loba (Bolívar)

El municipio de Barranco de Loba (Bolívar) solo tiene asociado la siguiente inundación y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		EL BANCO	EL BANCO - 1día	EL BANCO - 2día
24/11/2003	1		1.86	27.79	27.81	27.87

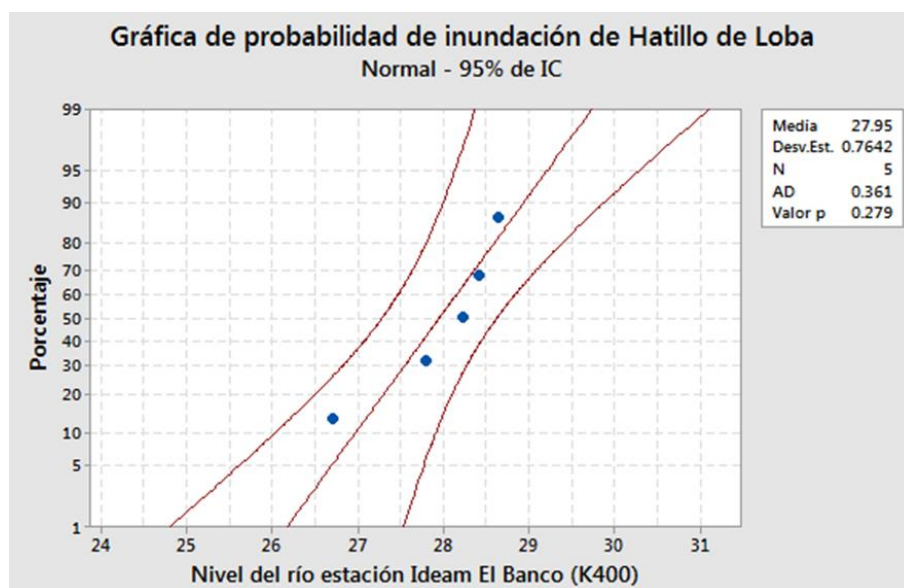
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	27.60
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	27.30
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	27.00

Tabla 4-42. Niveles de Alerta para Barranco de Loba (Bolívar).

4.6.4.3 Hatillo de Loba (Bolívar)

El municipio de Hatillo de Loba (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		EL BANCO	EL BANCO - 1día	EL BANCO - 2día
28/04/2011		1	5.0	28.51	28.41	28.33
04/04/2011	1		1.1	26.72	26.71	26.74
28/11/2008	1		6.6	28.66	28.64	28.57
04/06/2008	1		2.0	27.84	27.79	27.73
11/11/2004	1		3.3	28.24	28.22	28.18



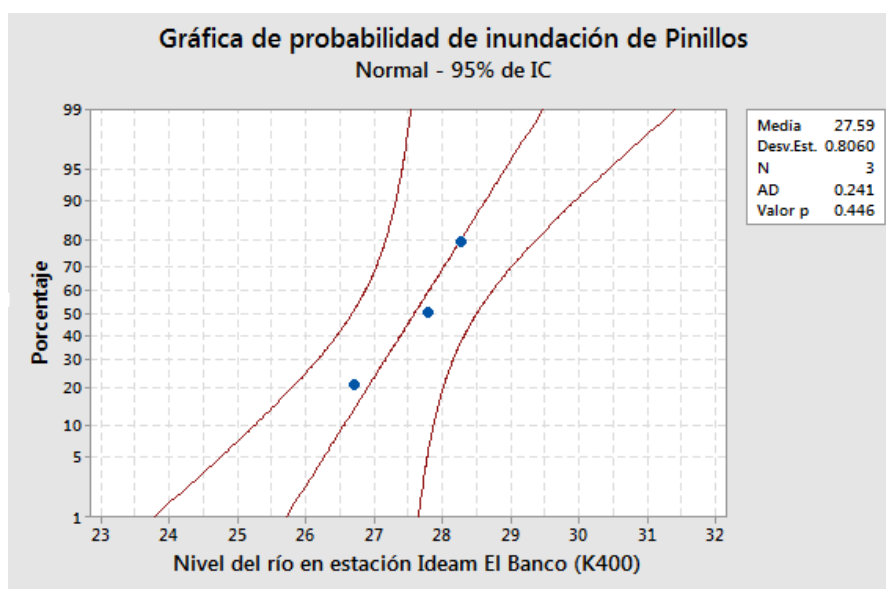
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	28.15
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	27.70
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	27.30

Tabla 4-43. Niveles de Alerta para Hatillo de Loba (Bolívar).

4.6.4.4 Pinillos (Bolívar)

El municipio de Pinillos (Bolívar) tiene asociada las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		EL BANCO	EL BANCO - 1día	EL BANCO - 2día
04/04/2011	1		1.1	26.72	26.71	26.74
25/07/2010	1		4.0	28.35	28.28	28.25
04/06/2008	1		2.0	27.84	27.79	27.73



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	27.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	27.40
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	27.00

Tabla 4-44. Niveles de Alerta para Pinillos (Bolívar).

4.6.4.5 San Martín de Loba (Bolívar)

El municipio de San Martín de Loba (Bolívar) tiene asociado la siguiente inundación y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		EL BANCO	EL BANCO - 1día	EL BANCO - 2día
28/11/2008	1		6.60	28.66	28.64	28.57

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	28.40
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	28.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	27.60

Tabla 4-45. Niveles de Alerta para Pinillos (Bolívar).

4.6.4.6 Comparativo entre Niveles de Alerta en Estación IDEAM El Banco (K400) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con los niveles de alerta de inundación definidos por el IDEAM para la estación El Banco (K400).

	NIVELES DE ALERTA IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)				
	El Banco	Altos del Rosario	Barranco de Loba	Hatillo de Loba	Pinillos	San Martín de Loba
NIVEL DE ALERTA ROJA	27.87	27.80	27.60	28.15	27.80	28.40
NIVEL DE ALERTA NARANJA	27.47	27.40	27.30	27.70	27.40	28.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA	26.87	27.00	27.00	27.30	27.00	27.60

Tabla 4-46. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM El Banco (K400).

Se observa que los niveles de alerta de los municipios Altos del Rosario, Barranco de Loba y Pinillos están por debajo de los niveles de alerta de la estación IDEAM El Banco (K400), mientras que los niveles de alerta de los municipios Hatillo de Loba y San Martín de Loba están por encima.

4.6.5 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Gamarra (K500)

A la estación IDEAM Gamarra (K500) fueron asignados los eventos de inundación de los municipios El Peñon (Bolívar), Tamalameque (Cesar), La Gloria (Cesar), Arenal del Sur (Bolívar) y Regidor (Bolívar). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.5.1 El Peñon (Bolívar)

El municipio de El Peñon (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		GAMARRA	GAMARRA -1día	GAMARRA -2día
28/04/2011	1		2.60	39.97	39.91	39.85
04/04/2011	1		1.00	37.48	37.56	37.74
20/11/2010		1		NA	NA	NA
28/11/2008	1			NA	NA	39.28
04/05/1998	1		1.47	39.49	39.31	39.10

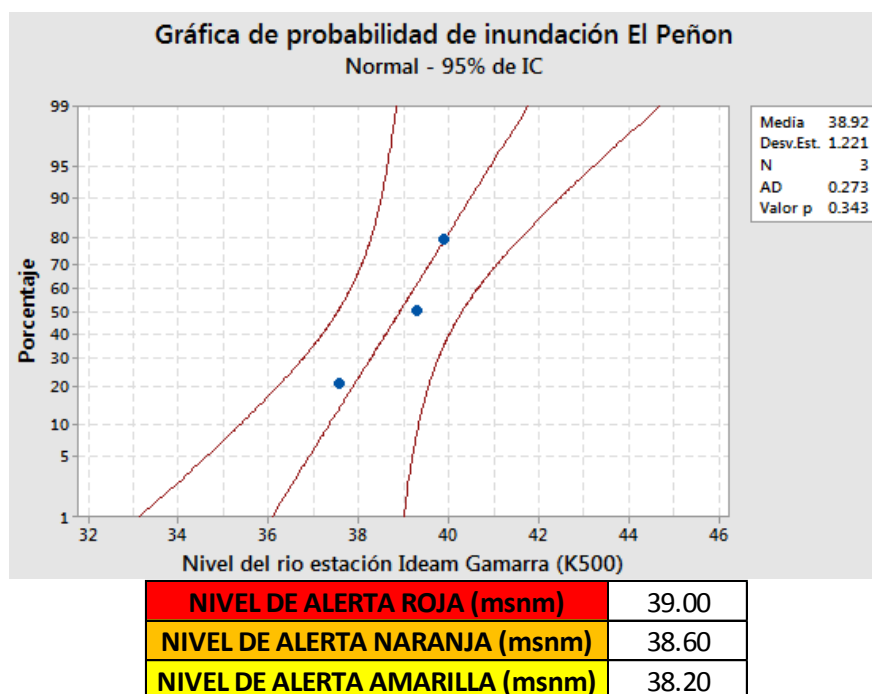


Tabla 4-47. Niveles de Alerta para El Peñon (Bolívar).

4.6.5.2 Tamalameque (Cesar)

El municipio de Tamalameque (Cesar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		GAMARRA	GAMARRA -1día	GAMARRA -2día
07/12/2011		1	1.65	39.63	39.62	39.65
22/04/2011	1		1.55	39.56	39.43	39.27
18/04/2011		1	1.12	38.97	38.90	38.82
01/10/2010	1			NA	39.07	39.02
20/07/2010	1			NA	NA	NA
04/06/2008	1			NA	39.19	39.12
19/05/2005	1		3.00	40.08	39.97	39.87
20/05/2004	1		1.36	39.38	NA	NA
03/11/2003	1		2.90	40.05	39.98	39.89
22/05/2000	1		1.75	39.69	39.58	39.54
06/05/1999	1		2.10	39.83	39.80	39.77
07/05/1998	1		1.75	39.69	39.60	39.52

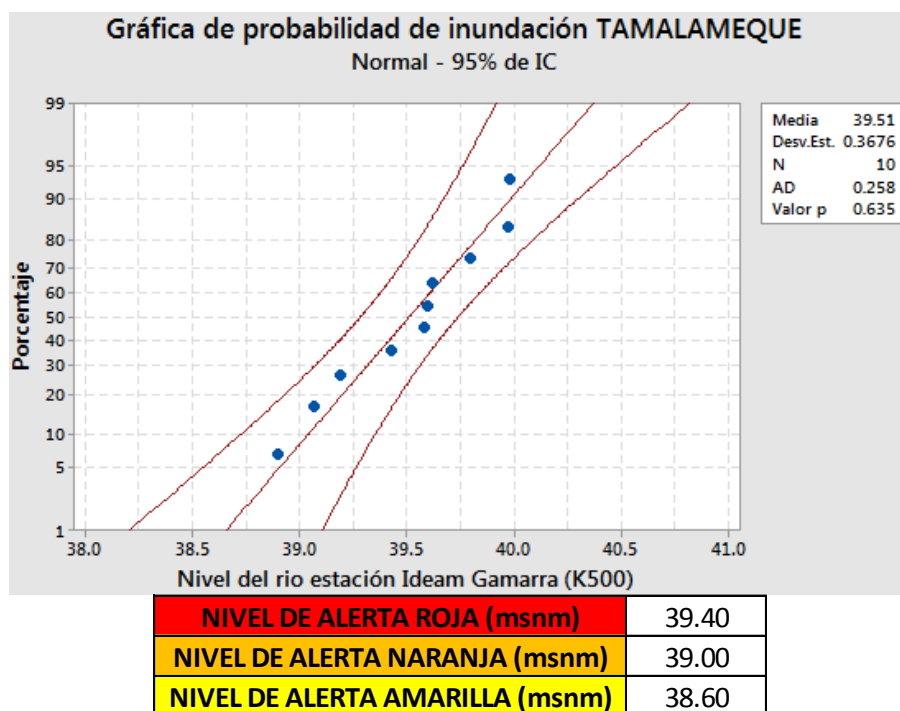
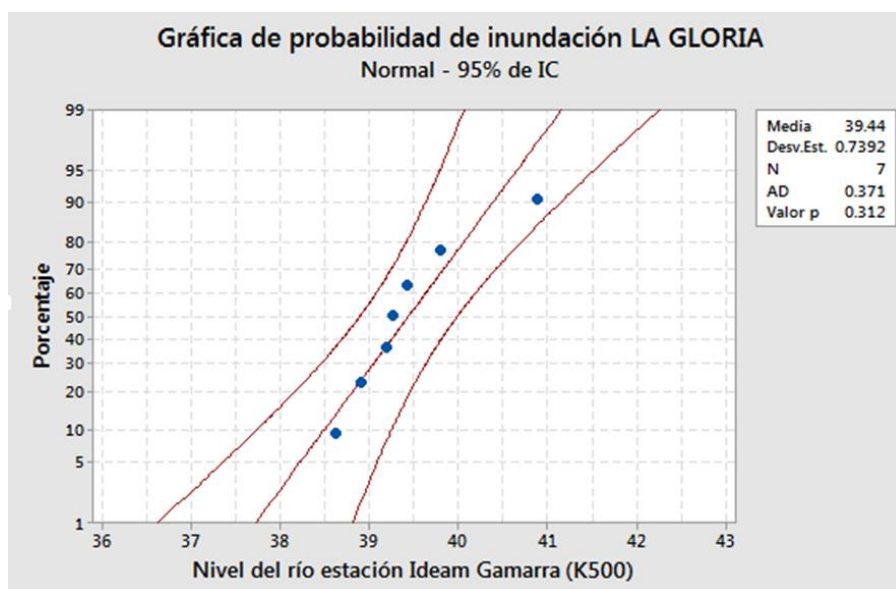


Tabla 4-48. Niveles de Alerta para Tamalameque (Cesar).

4.6.5.3 La Gloria (Cesar)

El municipio de La Gloria (Cesar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		GAMARRA	GAMARRA -1día	GAMARRA -2día
22/04/2011	1		1.55	39.56	39.43	39.27
18/04/2011		1	1.12	38.97	38.90	38.82
22/07/2010	1			NA	NA	NA
02/11/2008	1		1.04	38.59	38.61	38.62
04/06/2008	1			NA	39.19	39.12
07/05/2006	1		4.00	40.89	40.88	40.73
08/11/2005	1		1.24	39.22	39.26	39.29
06/05/1999	1		2.10	39.83	39.80	39.77



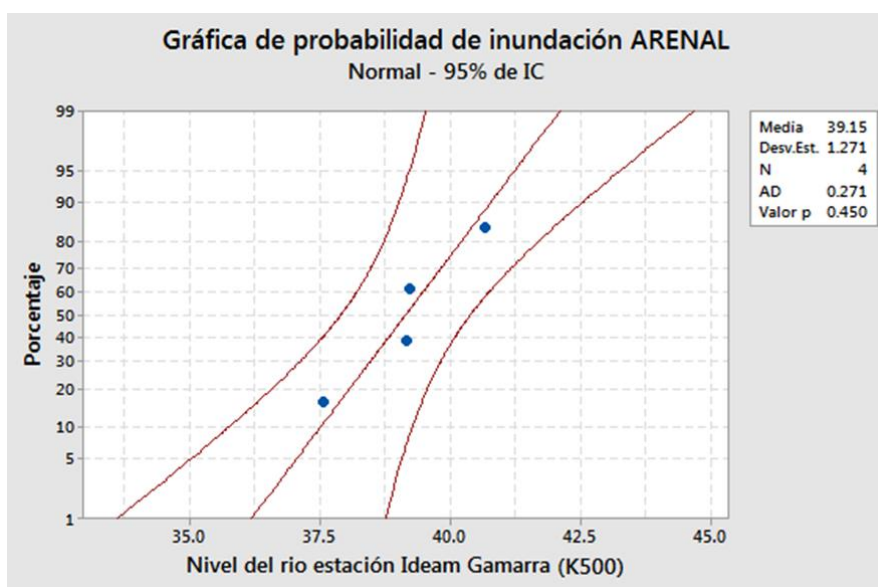
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	39.00
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	38.60
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	38.10

Tabla 4-49. Niveles de Alerta para La Gloria (Cesar).

4.6.5.4 Arenal del Sur (Bolívar)

El municipio de Arenal del Sur (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		GAMARRA	GAMARRA -1día	GAMARRA -2día
04/04/2011	1		1.00	37.48	37.56	37.74
07/11/2004	1		10	40.69	40.67	40.62
23/02/1999	1		1.28	39.28	39.22	39.13
12/06/1998	1		1.13	38.99	39.17	39.22



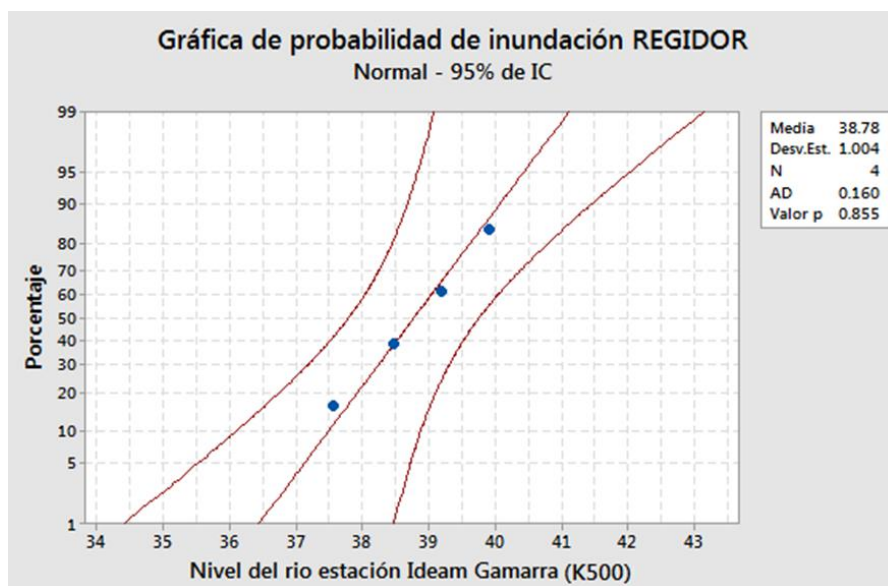
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	39.00
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	38.50
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	38.00

Tabla 4-50. Niveles de Alerta para Arenal del Sur (Bolívar).

4.6.5.5 Regidor (Bolívar)

El municipio de Regidor (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		GAMARRA	GAMARRA -1día	GAMARRA -2día
28/04/2011	1		2.60	39.97	39.91	39.85
04/04/2011	1		1.00	37.48	37.56	37.74
28/11/2008	1			NA	NA	39.28
04/06/2008	1			NA	39.19	39.12
09/07/1998	1		1.04	38.58	38.48	38.13



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	38.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	38.40
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	38.00

Tabla 4-51. Niveles de Alerta para Regidor (Bolívar).

4.6.5.6 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Gamarra (K500) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con la cota de inundación definida por el IDEAM para la estación Gamarra (K500)

	COTA DE INUNDACIÓN IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)				
	Gamarra	El Peñon	Tamalameque	La Gloria	Arenal	Regidor
NIVEL DE ALERTA ROJA	39.11	39.00	39.40	39.00	39.00	38.80
NIVEL DE ALERTA NARANJA		38.60	39.00	38.60	38.50	38.40
NIVEL DE ALERTA AMARILLA		38.20	38.60	38.10	38.00	38.00

Tabla 4-52. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Gamarra (K500).

Se observa que los niveles de alerta roja de los municipios El Peñón, La Gloria, Arenal del Sur y Regidor están por debajo de la cota de inundación de la estación IDEAM Gamarra (K500), mientras que el nivel de la cota roja de Tamalameque está por encima.

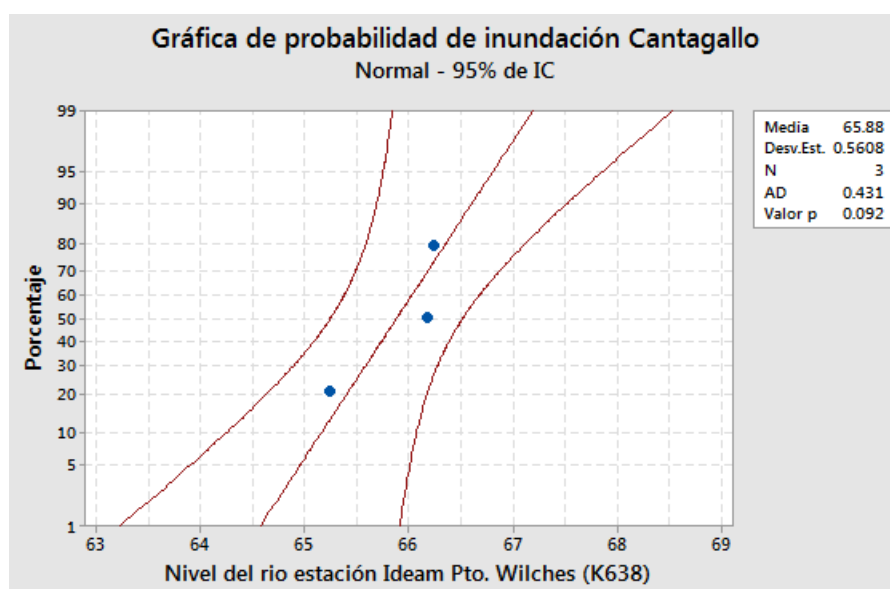
4.6.6 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Wilches (K638)

La estación IDEAM Puerto Wilches (K638) tiene asignados los eventos de inundación de los municipios Cantagallo (Bolívar), Loma de Corredor (Cesar), Morales (Bolívar), San Pablo (Bolívar) y Simití (Bolívar). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para cada municipio.

4.6.6.1 Cantagallo (Bolívar)

El municipio de Cantagallo (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO WILCHES	PTO WILCHES -1día	PTO WILCHES -2día
28/04/2011	1		30	66.20	66.24	66.26
18/04/2011	1		33	66.22	66.18	66.12
01/11/2005	1			NA	NA	NA
05/06/2000	1		1.60	65.11	65.24	65.41



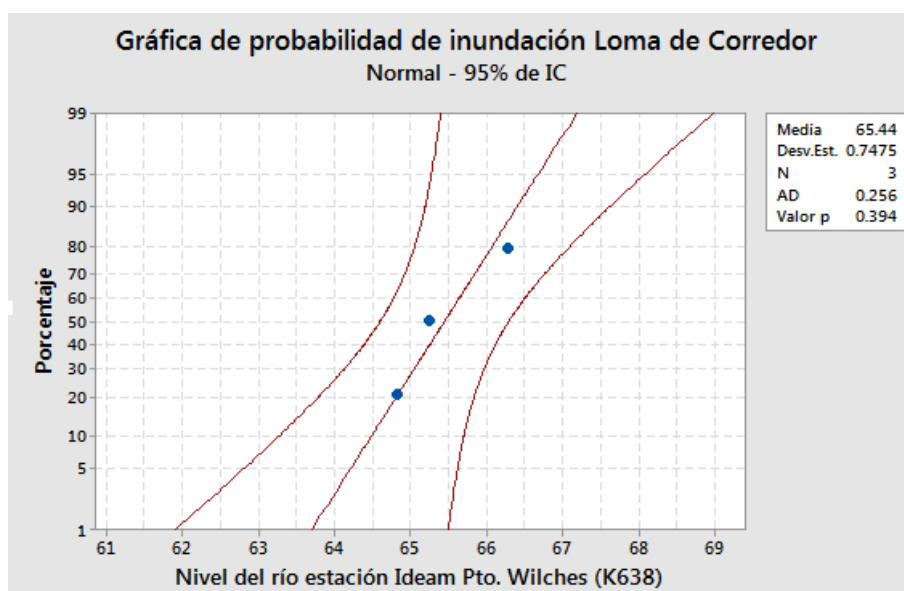
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	66.00
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	65.50
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	65.00

Tabla 4-53. Niveles de Alerta para Cantagallo (Bolívar).

4.6.6.2 Loma de Corredor (Cesar)

El municipio de Loma de Corredor (Cesar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO WILCHES	PTO WILCHES -1día	PTO WILCHES -2día
22/04/2011	1		40	66.26	66.28	66.26
08/11/2005	1		1.16	64.75	64.83	64.93
22/05/2000	1		2.30	65.32	65.24	65.06



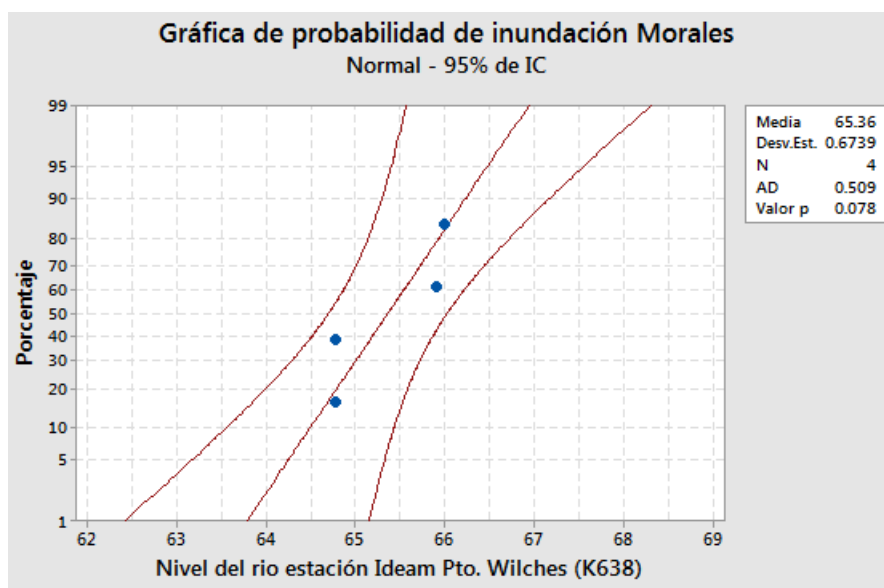
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	65.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	65.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	64.70

Tabla 4-54. Niveles de Alerta para Loma de Corredor (Cesar).

4.6.6.3 Morales (Bolívar)

El municipio de Morales (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO WILCHES	PTO WILCHES -1día	PTO WILCHES -2día
01/04/2011	1		1.21	64.82	64.79	65.00
10/11/2010	1		17.80	66.09	66.00	65.88
28/07/2010	1		1.14	64.71	64.78	64.63
04/06/2008	1		7	65.75	65.90	65.90



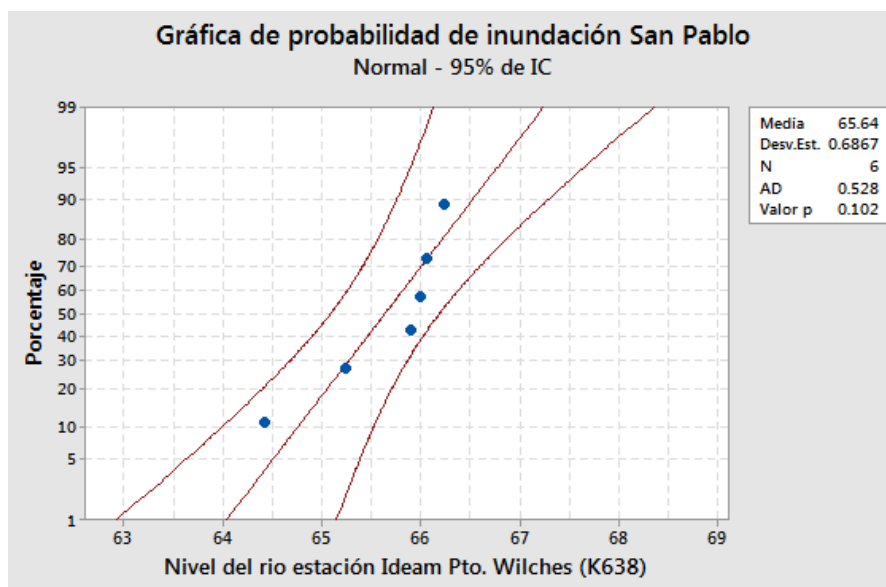
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	65.20
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	64.80
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	64.30

Tabla 4-55. Niveles de Alerta para Morales (Bolívar).

4.6.6.4 San Pablo (Bolívar)

El municipio de San Pablo (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO WILCHES	PTO WILCHES -1día	PTO WILCHES -2día
28/04/2011	1		30	66.20	66.24	66.26
04/04/2011	1		1.1	64.61	64.43	64.46
10/11/2010	1		17.8	66.09	66.00	65.88
27/11/2008	1		17	66.03	66.06	66.00
04/06/2008	1		7	65.75	65.90	65.90
05/06/2000	1		1.6	65.11	65.24	65.41



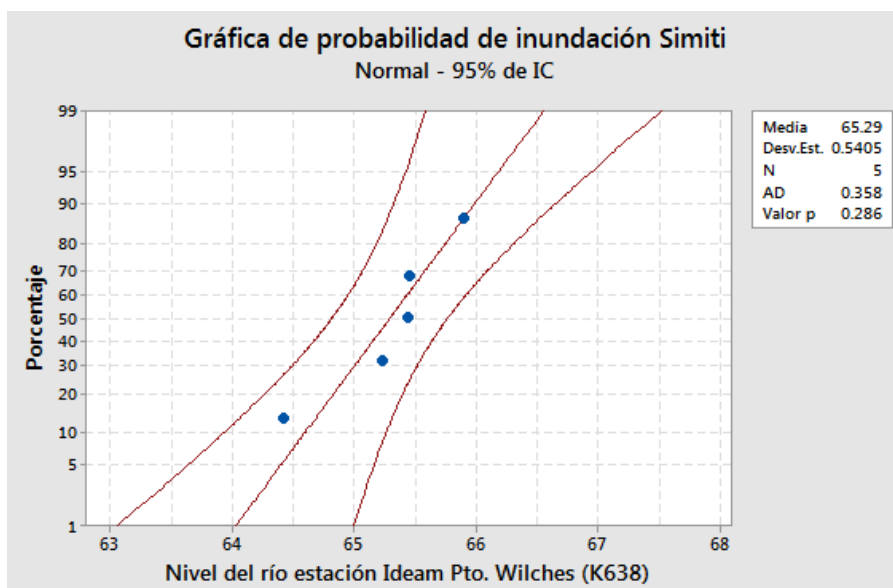
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	65.50
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	65.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	64.50

Tabla 4-56. Niveles de Alerta para San Pablo (Bolívar).

4.6.6.5 Simití (Bolívar)

El municipio de Simití (Bolívar) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO WILCHES	PTO WILCHES -1día	PTO WILCHES -2día
04/04/2011	1		1.10	64.61	64.43	64.46
04/06/2008	1		7	65.75	65.90	65.90
07/11/2007	1		3	65.43	65.45	65.66
04/05/2007	1		3.3	65.46	65.46	65.46
05/06/2000	1		1.60	65.11	65.24	65.41



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	65.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	64.90
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	64.50

Tabla 4-57. Niveles de Alerta para Simití (Bolívar). Fuente: Elaboración Propia.

4.6.6.6 Comparativo entre Cota de Inundación en Estación IDEAM Puerto Wilches (K638) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios afectados y se comparan estos con la cota de inundación definida por el IDEAM para la estación Puerto Wilches (K638). Ver Tabla 4-58.

	COTA DE INUNDACIÓN IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)				
	Puerto Wilches	Cantagallo	Loma Corredor	Morales	San Pablo	Simiti
NIVEL DE ALERTA ROJA	65.24	66.00	65.30	65.20	65.50	65.30
NIVEL DE ALERTA NARANJA		65.50	65.00	64.80	65.00	64.90
NIVEL DE ALERTA AMARILLA		65.00	64.70	64.30	64.50	64.50

Tabla 4-58. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Wilches (K638).

Se observa que los niveles de alerta roja de los municipios Cantagallo, Loma de Corredor, San Pablo y Simití están por encima de la cota de inundación de la estación IDEAM Puerto Wilches (K638), mientras que el nivel de la cota roja de Morales está por debajo

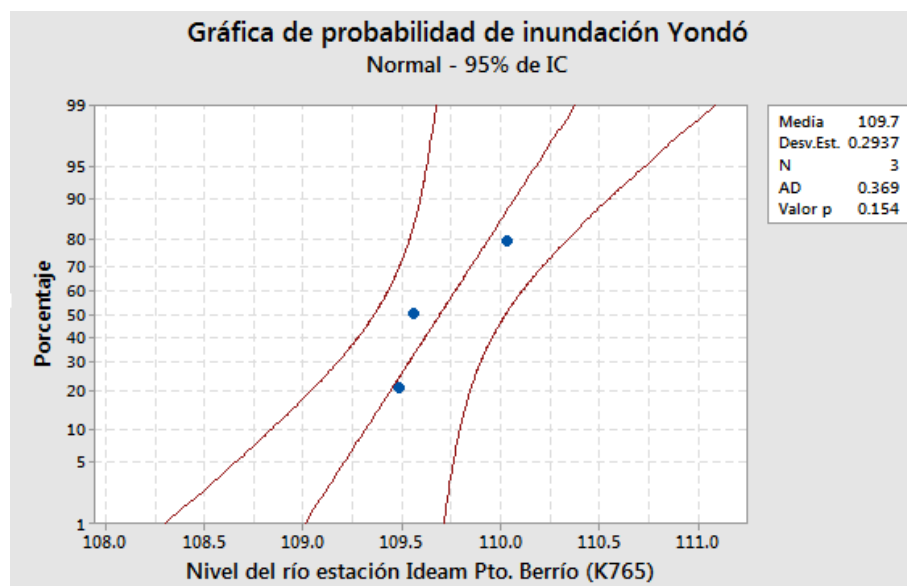
4.6.7 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Berrío (K765)

La estación IDEAM Puerto Berrío (K765) tiene asignado los eventos de inundación del municipio Yondó (Antioquia). A continuación se observa los niveles de alerta de inundación propuesto para este municipio.

4.6.7.1 Yondó (Antioquia)

El municipio de Yondó (Antioquia) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO. BERRIO	PTO. BERRIO -1día	PTO. BERRIO -2día
09/11/2010	1		1.53	109.75	109.49	109.48
20/11/2008	1		1.22	109.55	109.56	109.47
11/05/2006	1		1.66	109.80	110.03	109.68



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	109.55
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	109.10
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	108.70

Tabla 4-59. Niveles de Alerta para Yondó (Antioquia).

4.6.7.2 Comparativo entre Niveles de Alerta de Inundación en Estación IDEAM Puerto Berrio (K765) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para el municipio asignado a esta estación y se comparan estos con los niveles de alerta definidos por el IDEAM para la estación Puerto Berrio (K765).

	NIVELES DE ALERTA IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA PROPUESTOS (msnm)
	Puerto Berrio	Yondó
NIVEL DE ALERTA ROJA	110.38	109.55
NIVEL DE ALERTA NARANJA	109.88	109.10
NIVEL DE ALERTA AMARILLA	109.38	108.70

Tabla 4-60. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Berrio (K765).

Se observa que los niveles de alerta de inundación de Yondó están por debajo de los definidos por el IDEAM para la estación Puerto Berrio.

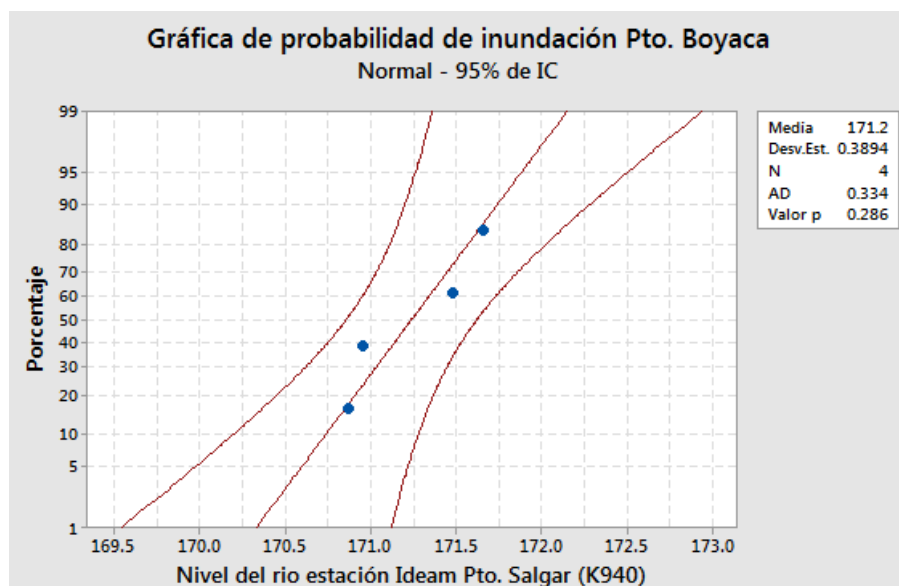
4.6.8 Niveles de Alerta de Inundación: Estación IDEAM Puerto Salgar (K940)

La estación IDEAM Puerto Salgar (K940) tiene asignado los eventos de inundación de los municipios Puerto Boyacá (Boyacá), Puerto Nare (Antioquia) y Puerto Triunfo (Antioquia). A continuación se presenta los niveles de alerta de inundación propuesto para estos municipios.

4.6.8.1 Puerto Boyacá (Boyacá)

El municipio de Puerto Boyacá (Boyacá) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO. SALGAR	PTO. SALGAR -1día	PTO. SALGAR -2día
18/04/2011	1		7.3	171.63	171.66	171.58
26/11/2008	1		7	171.61	171.48	171.47
07/05/2006	1		1.6	170.82	170.87	170.54
22/02/1999	1		2	171.00	170.95	170.52



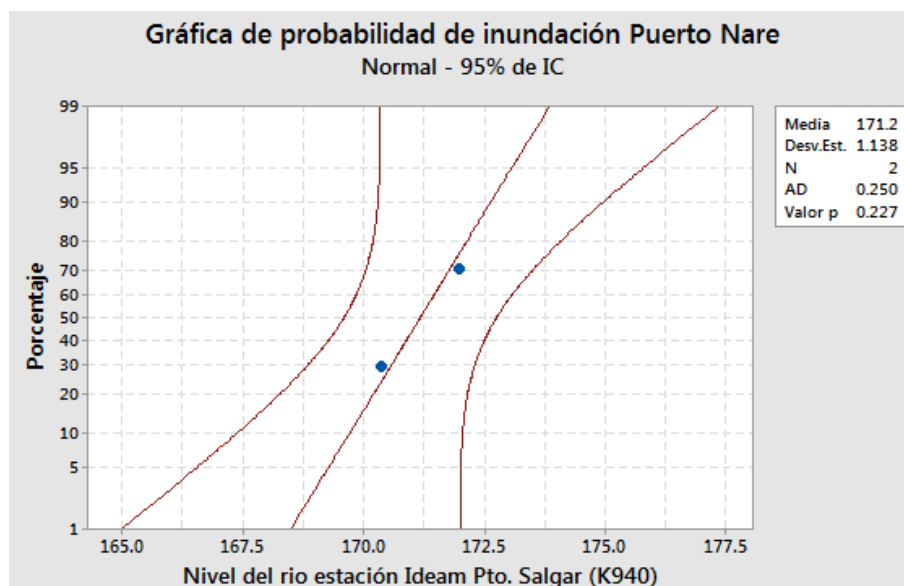
NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	171.00
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	170.50
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	170.00

Tabla 4-61. Niveles de Alerta para Puerto Boyacá (Boyacá).

4.6.8.2 Puerto Nare (Antioquia)

El municipio de Puerto Nare (Antioquia) tiene asociado las siguientes inundaciones y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO. SALGAR	PTO. SALGAR -1día	PTO. SALGAR -2día
29/05/2008	1		21	172.01	171.98	172.06
19/02/1999	1		1.2	170.37	170.37	169.82



NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	171.50
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	171.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	170.50

Tabla 4-62. Niveles de Alerta para Puerto Nare (Antioquia).

4.6.8.3 Puerto Triunfo (Antioquia)

El municipio de Puerto Triunfo (Antioquia) solo tiene asociado una inundación y sus niveles de alerta son.

Fecha de Inundación	Tipo de Riesgo		Periodo de Retorno de la Inundación (Años)	NIVELES EN ESTACION (msnm)		
	Hidrologico	Hidraulico		PTO. SALGAR	PTO. SALGAR -1día	PTO. SALGAR -2día
25/05/2008	1		7.1	171.62	171.23	171.00

NIVEL DE ALERTA ROJA (msnm)	171.50
NIVEL DE ALERTA NARANJA (msnm)	171.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA (msnm)	170.50

Tabla 4-63. Niveles de Alerta para Puerto Triunfo (Antioquia).

4.6.8.4 Comparativo entre Niveles de Alerta de Inundación en Estación IDEAM Puerto Salgar (K940) y Niveles de Alerta Propuestos para Municipios

En la siguiente tabla se presenta en resumen los niveles de alerta de inundación propuestos para los municipios asignados a esta estación y se comparan estos con los niveles de alerta definidos por el IDEAM para la estación Puerto Salgar (K940). Ver Tabla 4-64.

	NIVELES DE ALERTA IDEAM (msnm)	NIVELES DE ALERTA DE INUNDACIÓN PROPUESTOS (msnm)		
	Puerto Salgar	Puerto Boyaca	Puerto Nare	Puerto Triunfo
NIVEL DE ALERTA ROJA	171.32	171.00	171.50	171.50
NIVEL DE ALERTA NARANJA	170.92	170.50	171.00	171.00
NIVEL DE ALERTA AMARILLA	170.42	170.00	170.50	170.50

Tabla 4-64. Niveles de alerta propuestos comparados con cota de inundación en estación IDEAM Puerto Salgar (K940).

Se observa que los niveles de alerta de inundación de Puerto Nare y Puerto Triunfo están por encima de los definidos por el IDEAM para la estación Puerto Salgar, mientras que Puerto Boyacá tiene sus niveles de alerta por debajo de los de esta estación.

4.6.9 Análisis de Vulnerabilidad del Sistema de Control de Inundación con base a Niveles de Alerta en Estaciones Hidrológicas del IDEAM

En cada una de las estaciones hidrológicas se calcula el periodo de retorno (con base al análisis de niveles máximos anuales) de los niveles de alerta y cota de inundación

	ABSCISA (K)	ALERTA ROJA		ALERTA NARANJA		ALERTA AMARILLA	
		NIVEL (msnm)	PERIODO DE RETORNO (Años)	NIVEL (msnm)	PERIODO DE RETORNO (Años)	NIVEL (msnm)	PERIODO DE RETORNO (Años)
PLATO	167	13.65	6.50	13.05	4	12.25	2.40
EL BANCO	400	27.87	2	27.47	1.43	26.87	1.10
BARRANCABERMEJA	660	75.09	2	74.79	1.30	74.49	1.06
PUERTO BERRIO	765	110.38	10	109.88	2.70	109.38	1.10
PUERTO SALGAR	940	171.32	3.50	170.92	2	170.42	1.18

	ABSCISA (K)	COTA DE INUNDACIÓN (msnm)	PERIODO DE RETORNO (Años)
CALAMAR	93	9.85	2000
MAGANGUE	252	17.72	1.45
GAMARRA	500	39.11	1.18
PUERTO WILCHES	638	65.24	1.96

Tabla 4-65. Periodo de Retorno de Niveles de Alerta y Cota de Inundación en estaciones hidrológicas del IDEAM.

Observando la tabla anterior se nota que los periodo de retorno de los niveles de alerta de inundación son iguales o menores a 10 años, siendo muy inferiores al periodo de retorno mínimo de diseño (25 años) para obras de control de inundación. Respecto a los periodos de retorno de las cotas de inundación se observa que la cota de la estación IDEAM Calamar (K93) es 2000 años mientras que las demás son inferiores a dos (2) años.

Del análisis anterior podemos concluir que los niveles de alerta de inundación y las cotas de inundación de las estaciones hidrológicas del IDEAM están asociados a periodos de retorno muy bajos, lo cual indica la alta vulnerabilidad del sistema de control de inundación del río Magdalena.

5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- La metodología propuesta para la estimación de niveles de alerta de inundación puede ser aplicada en cualquier municipio que esté ubicado en la llanura de inundación de los ríos. Esta metodología permite definir alertas de inundación de acuerdo al nivel de vulnerabilidad de cada municipio basado en los registros de inundación que se tengan y en los niveles del río en la estación hidrológica ubicada aguas arriba.
- Esta metodología permite estimar los niveles de alerta desde una perspectiva hidrológica/hidráulica del riesgo de inundación, a diferencia de las actuales las cuales se rigen en los niveles hidrológicos máximos del cauce o de la cota corona de la obra de protección.
- Los períodos de retorno de las inundaciones en los municipios son muy bajos, en su mayoría inferiores al periodo de retorno mínimo de diseño (25 años) con el cual se diseñan las obras de protección y control, lo cual indica que las obras de inundación del río Magdalena son altamente vulnerables.
- Los niveles del río en las estaciones hidrológicas para las fechas de inundación están asociados a frecuencia de niveles excedidos superiores al 10%, aunque algunos registros fueron cercanos al nivel de excedencia del 50%.
- Actualmente el IDEAM define para una estación hidrológica niveles de alerta únicos, los cuales son aplicados para todos los municipios ubicados aguas abajo. Por el contrario ésta metodología está basada en la vulnerabilidad de cada municipio, permitiendo obtener niveles de alerta particular para cada población con una sola estación hidrológica.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para la ejecución de la metodología propuesta en otros ríos y para otros municipios, se requiere seguir cada paso explicado y aplicado en este documento.
- Los datos iniciales de la metodología propuesta deben ser constantemente alimentados, teniendo en cuenta las inundaciones que vayan ocurriendo
- Las evidencias muestran que los municipios son altamente vulnerables a inundaciones con cotas muy bajas, por lo tanto es recomendable hacer un diagnóstico de las estructuras de control de inundación y la definición clara del grado de vulnerabilidad considerando criterios hidráulicos, geotécnicos e hidrológicos.

6 BIBLIOGRAFIA

- ALVARADO, M. Río Magdalena: Navegación Marítima – Fluvial (1986 – 2008). Ediciones Uninorte. Barranquilla, Colombia. 2008
- BANCO INTERAMERICANO DE DESARROLLO (BID), COMISION ECONOMICA PARA AMERICA LATINA Y EL CARIBE (CEPAL). Información para la gestión del riesgo de desastres: Estudio de Caso Colombia. 2007
- BANCO INTERNACIONAL DE RECONSTRUCCIÓN Y FOMENTO (BIFR). Análisis de la gestión del riesgo de desastres en Colombia: un aporte para la construcción de políticas públicas. 2012.
- CELEMÍN, J. Elaboración de cartografía de riesgo de inundaciones y propuesta de mejora de conservación en la cuenca y reserva MAB de mar Chiquita, provincia de Buenos Aires, Argentina. Universidad Internacional de Andalucía, 2009.
- CENTRO DE PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA CENTRAL (CEPREDENAC). Guía de Inundaciones Repentinas para Centroamérica. 2012.
- CENTRO NACIONAL DE PREVENCIÓN DE DESASTRES (CENAPRED). Serie de Fascículos: Inundaciones. México D.F. 2013.
- CRONICA DEL QUINDÍO. En línea: <http://www.cronicadelquindio.com/noticia-completa-titulo-enorme-costosocial-y-econmico-deja-rotura-del-canal-del-dique-seccion-la-nacin-nota-22992>. Consultado el 1 de Agosto de 2015.
- DE GONZALO, C. Propuesta metodológica de modelización hidrometeorológica e hidrodinámica enfocada a la ordenación del riesgo de inundación: aplicación a la cuenca del río Pejibaye en Costa Rica. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España. 2011.
- GOOGLE EARTH PRO. Imágenes satelitales de Colombia. 2015

- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC). En línea: <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapald=7>. Consultado el 29 de Julio de 2015.
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTÍN CODAZZI (IGAC), INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). En línea: <https://www.siac.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=623&conID=915>.
- IMAGUI. En línea: <http://www.imaqui.com/a/dibujos-de-inundaciones-para-colorear-ibKaGGxry>. Consultado el 5 de Junio de 2015.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, HIDROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Valores medios diarios de niveles en estaciones hidrológicas Calamar, Plato, Magangué, El Banco, Gamarra, Puerto Wilches, Barrancabermeja, Puerto Berrío y Puerto Salgar en el río Magdalena. Bogotá, Colombia. 2015.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, HIDROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Informe Hidrológico Diario N°360. Bogotá, Colombia. 2014.
- INSTITUTO DE METEOROLOGÍA, HIDROLOGIA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Cotas ceros de estaciones hidrológicas de los ríos Magdalena, Cauca, Sinú, San Jorge, Atrato y otras. Bogotá, Colombia. 2013.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (INVIAS). Recorrido del río Magdalena. Bogotá, Colombia. 2015.
- KARNSTEDT, A. Mapa del río Magdalena y su cuenca. En línea: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Rio_Magdalena_map.png. Consultado el 30 de Julio de 2015.
- KRON, W. Flood Risk – a Global Problem. 11th International Conference on Hydrosience and Engineering ICHE, 2014.
- LABORATORIO DE ENSAYOS HIDRAULICOS – LAS FLORES. Campaña VI Monitoreo de Sitios Críticos a la Navegación. Barranquilla, Colombia. 2015.

- OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (UNISDR) – COORPORACIÓN OSSO. Impacto de los desastres en América Latina y el Caribe 1990 – 2011, Tendencias y estadísticas para 16 países. 2013.
- OFICINA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA REDUCCIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES (UNISDR) – COORPORACIÓN OSSO. Patrones en la configuración de riesgos y condiciones de vulnerabilidad asociados con la ruptura de diques en Colombia. 2013.
- ORGANIZACIÓN DE LOS ESTADOS AMERICANOS (OEA). Manual para el diseño e implementación de un sistema de alerta temprana de inundaciones en cuencas menores. 2001.
- ORGANIZACIÓN METEOROLÓGICA MUNDIAL (WMO), ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO). Glosario Internacional de Hidrología. 2012.
- ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAS PARA LA EDUCACIÓN, LA CIENCIA Y LA CULTURA (UNESCO), COMISIÓN EUROPEA DEPARTAMENTO DE AYUDA HUMANITARIA, CENTRO DE PREVENCIÓN DE DESASTRES EN AMÉRICA CENTRAL (CEPRENAC). Manual de sistemas de alerta temprana: 10 preguntas – 10 respuestas. Ciudad de Panamá, Panamá. 2011
- PEREZ R. Modelo estocástico de análisis en tiempo real para determinar una alerta temprana contra fenómenos hidrometeorológicos extremos mediante: filtro de Kalman Discreto. Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Civil, Tesis de Grado. 2014.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (PNUD). Programa de Entrenamiento para el Manejo de Desastres. 1997.
- REAL ACADEMIA ESPAÑOLA (RAE). Diccionario de la Lengua Española, Vigésima Segunda (22º) Edición. 2012
- RUBIO, C. Gestión Ambiental del riesgo por inundación: Área inundable del Canal del Dique. ONU HABITAT – Colombia. 2012.

- SEDANO K., CARVAJAL Y., ÁVILA A. Análisis de aspectos que incrementan el riesgo de inundaciones en Colombia. Universidad de Caldas Revista Luna Azul, No 37, Julio – Diciembre 2013.
- STORMGUARD FLOOD PLAN. En línea: <http://stormguardfloodplan.com/>. Consultado el 5 de Junio de 2015.